



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

## Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

## Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.









535.7

H 479

cop. 2

54, -

Hande

~~Hande~~ Hande

,

.

,

-

n

en

an

eits

t zu

u er-

holo-



**Handbuch**  
der  
**Physiologischen Optik**

von  
**H. von Helmholtz.**

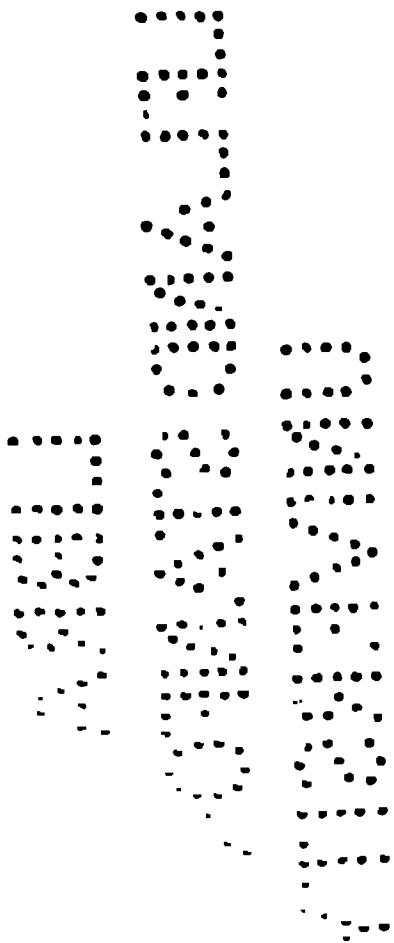
**Zweite umgearbeitete Auflage.**

**Mit 254 Abbildungen im Text und 8 Tafeln.**

---

**Hamburg und Leipzig.**  
**Verlag von Leopold Voss.**  
**1896.**

**Alle Rechte, insbesondere das Recht der Übersetzung vorbehalten.**



**Druck der Verlagsanstalt und Druckerei Actlen-Gesellschaft  
(vormals J. F. Richter) in Hamburg.**



# Vorrede zur ersten Auflage.

---

Die erste Abtheilung des vorliegenden Handbuches ist schon im Jahre 1856 erschienen, die zweite 1860, die dritte theils Anfang, theils Ende 1866. Die lange Verzögerung der Herausgabe des letzten Theils war theils durch äußere Gründe, zweimaligen Wechsel des Wohnortes und Wirkungskreises, sich zwischendrängende andere wissenschaftliche Arbeiten, theils durch innere Gründe veranlaßt. Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen ist gerade im Laufe der letzten Jahre sehr vielfältig bearbeitet worden, und hat eben angefangen ihren reichen Inhalt und das tiefgreifende Interesse, was sie besitzt, zu entfalten. Es könnte billiger Weise auch jetzt noch einem Zweifel unterliegen, ob es schon möglich ist, mit einiger Aussicht auf Erfolg einen, wenn auch nur vorläufigen, Abschluß eines so jungen und gleichsam noch gährenden Zweiges der Wissenschaft geben zu wollen, wie es doch der allgemeine Plan dieses Buches und der Encyklopädie, zu der es gehört, erfordert.\* Andererseits ist bei der eigenthümlichen Natur dieses Gebiets ein schneller Fortschritt zu einer endgiltigen Beantwortung der noch offenen Fragen nicht gerade zu erwarten. Theils ist dasselbe eng verflochten mit den schwierigsten psychologischen Problemen, theils ist die Zahl der Beobachter gering, die es fördern können, da immer eine lange Uebung in der Beobachtung subjectiver Erscheinungen und in Beherrschung der Augenbewegungen vorhergehen muß, ehe

---

\* Die erste Auflage erschien als Band IX der *Allgemeinen Encyklopädie der Physik*, herausgegeben von GUSTAV KARSTEN. (A. K.)



Was die literarischen Uebersichten betrifft, die nach dem Plane der Encyclopädie verlangt wurden, so habe ich sie so gut gegeben, als ich bei den mir zu Gebot stehenden Hilfsmitteln konnte. Die neuere Literatur wird ziemlich vollständig sein; die ältere habe ich vielfach aus secundären Quellen zusammentragen müssen und kann für ihre Genauigkeit keine Garantie übernehmen. Die Ausarbeitung einer wirklich zuverlässigen Geschichte der physiologischen Optik würde eine Arbeit sein, die die Zeit und Kraft eines Forschers für lange Jahre in Anspruch nehme, und das entsprechende Interesse würde sie doch erst haben, wenn der Zustand der Wissenschaft selbst ein reiferer wäre, als er jetzt ist.

Mein Hauptstreben bei der Ausarbeitung des vorliegenden Buches ist es gewesen, mich durch eigenen Augenschein und eigene Erfahrung von der Richtigkeit aller, nur einigermaßen wichtigen Thatsachen zu überzeugen. Die Methoden der Beobachtung habe ich stets in derjenigen Ausführungsweise beschrieben, welche mir die zuverlässigste zu sein schien, und wo dieselben von der Methode des Entdeckers abweichen, bitte ich darin nicht eine unmotivirte sucht nach Neuerungen zu sehen.

Mögen sachverständige Richter die Schwierigkeit und Weitläufigkeit der Aufgabe, die zu lösen war, berücksichtigen, wo sie das ihnen hier übergebene Buch zu tadeln finden sollten.

Heidelberg, im December 1866.

H. HELMHOLTZ.

# Vorrede zur zweiten Auflage.

---

Da die ältere Ausgabe dieses Buches seit Jahren aus dem Buchhandel verschwunden war, und doch noch immer wieder verlangt wurde, habe ich mich entschlossen, eine neue Ausgabe zu bearbeiten. Diese konnte nicht wohl ein unveränderter, beziehlich nur von Druckfehlern und andern Versehen gereinigter Abdruck der ersten Ausgabe sein, da die große Menge von Arbeiten, die seit dem Erscheinen des Werks in der Ophthalmologie durchgeführt sind, doch eine große Menge theils gewichtiger Bestätigungen und Sicherungen der damals aufgestellten Sätze, theils Verbesserungen und genauere Bestimmungen gebracht haben. Auch glaube ich jetzt die frühere Darstellung an manchen wichtigen Stellen einfacher oder deutlicher machen zu können.

Andrerseits fand ich es unmöglich, in absehbarer Zeit die neue Ausgabe vollständig nach denselben Grundsätzen durchzuarbeiten, nach denen ich es bei der früheren gethan habe. Damals hatte ich es mir zur Pflicht gemacht, alle wesentlichen Punkte durch eigene Beobachtungen und Versuche zu prüfen, beziehlich zu begründen. Ich habe also einen mittleren Weg einschlagen müssen. Ich habe aus der neueren Litteratur möglichst berücksichtigt, was mir einen wesentlichen Fortschritt, oder eine wünschenswerte Sicherung, beziehlich Widerlegung meiner früheren Ergebnisse und

---

Meinungen zu enthalten schien. Ich bin aber nicht darauf ausgegangen, im Texte des Buches eine vollständige Aufzählung und Kritik neuerer Meinungen zu geben. Dagegen soll am Schlusse eine möglichst vollständige Übersicht der Litteratur, nach dem Inhalte geordnet, folgen, deren Zusammenstellung Herr Dr. Arthur König übernommen hat.

Um die älteren Citate in der neuen Auflage finden zu können, sind die Seitenzahlen derselben am Rande des neuen Textes angegeben, und was umgearbeitet oder neu eingesetzt ist, ist durch ein an den Rand gesetztes *n* bezeichnet, so daß der Leser die gemachten Änderungen leicht erkennt.

Auch von den Figuren ist ein großer Teil durch bessere neue ersetzt worden, andere sind neu hinzugefügt.

Berlin, im November 1885.

HERMANN VON HELMHOLTZ

---

Diese Worte waren der ersten Lieferung der neuen Auflage des vorliegenden Werkes zur Orientirung über die Gesichtspunkte, nach denen die Umarbeitung in Angriff genommen werden sollte, vorangeschickt. Seitdem sie niedergeschrieben, sind mehr als zehn Jahre vergangen, und inzwischen ist am 8. September 1894 Hermann von Helmholtz selbst von seinem Werke abberufen worden.

Das so umgrenzte Programm wurde in den ersten vier Lieferungen (Seite 1—320) im Wesentlichen eingehalten. Allmählich aber erwachte durch die neue Beschäftigung mit der physiologischen Optik bei dem Verstorbenen das Interesse an der Sache wieder zu der alten Intensität, und er begann auf's neue — freilich ohne selbst anhaltend zu experimentiren, sondern indem er sich auf die Beobachtungen und Messungen Anderer stützte — an der Lösung einzelner Probleme mitzuarbeiten. Es entstanden dadurch mehrere Abhandlungen, die dann, zum Theil verschmolzen mit großen Abschnitten aus den benutzten Abhandlungen Anderer, fast wörtlich in das vorliegende Handbuch aufgenommen wurden. Leider aber ließen die sonstigen wissenschaftlichen Interessen und die stets wachsenden beruflichen Arbeiten ihm keine Zeit, in gleicher Ausführlichkeit auch die übrigen Gebiete und Theorien zu









23. *Mémoires des savants étrangers, présentés à l'Académie des Sciences à Paris. -- Mém. d. Sav. étr.*
24. *Annales de chimie et de physique par MM. GAY-LUSSAC, ARAGO, CHEVREUL, DUMAS, PELOUZE, BOUSSINGAULT et REGNAULT. -- Ann. de ch. et de ph.*
25. *Bulletin de la société d'encouragement pour l'industrie nationale. -- Bull. de la Soc. d'enc.*
26. *Bulletin de la classe physico-mathématique de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg. -- Bull. de St. Pét.*
27. *Mémoires présentés à l'Académie impériale de St. Pétersbourg. -- Mém. de Pétersb.*
28. *Archiv für Ophthalmologie, herausgegeben von F. ARLT, F. C. DONDERS und A. V. GRAEFE. -- Arch. f. Ophthalm.*
29. *Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse. -- Wien. Ber.*
30. *Cosmos, revue encyclopédique hebdomadaire des progrès des Sciences, rédigée par MOIGNO. Paris. -- Cosmos.*
31. *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde, herausgegeben von F. C. DONDERS und W. BERLIN. -- Arch. f. d. holl. Beitr.*
32. *Nederlandsch Archief voor Genees. en Natuurkunde, uitgegeven door F. C. DONDERS en W. KOSTER. -- Nederl. Arch.*
33. *....Jaarlijksch Verslag betrekkelijk de verpleging en het onderwijs in het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. -- Jaarl. Versl. in het Nederl. Gasth.*
34. *HENLE und PFEUFFER Zeitschrift für rationelle Medicin. -- Henle u. Pfeuffer Zeitschr. oder Zeitschr. f. rat. Med.*
35. *Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medicin, herausgegeben früher von J. MÜLLER, jetzt von C. B. REICHERT und E. DU BOIS-REYMOND. -- J. Müller's Archiv oder Reichert und du Bois Archiv.*
36. *Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. -- Jahresber. d. Frankf. Ver.*
37. *Athenaeum, journal of literature, science and the fine arts. -- Athen.*



# Inhaltsverzeichnis.

---

	Seite
Vorrede zur ersten Auflage . . . . .	V
Vorrede zur zweiten Auflage . . . . .	VIII
Verzeichniß einiger Abkürzungen . . . . .	XII

## ANATOMISCHE BESCHREIBUNG DES AUGES.

§. 1.	Formen des Sehorgans im Allgemeinen. . . . .	3
§. 2.	Sehnenhaut und Hornhaut. . . . .	5
	Messungen der Dimensionen des Augapfels und der Hornhautkrümmung 8—10. Beschreibung und Theorie des Ophthalmometers von HELMHOLTZ 11—14.	
§. 3.	Die Uvea. . . . .	22
	Die Iris der Linse anliegend. Methode ihre Entfernung von der Horn- haut zu messen 25—30.	
§. 4.	Die Netzhaut. . . . .	30
	Messungen ihrer Elemente 37—38.	
§. 5.	Die Krystalllinse. . . . .	38
§. 6.	Wässerige Feuchtigkeit und Glaskörper. . . . .	39
	Befestigung der Linse 40—42.	
§. 7.	Umgebung des Auges. . . . .	42
	Augenmuskeln 43.	





§. 29.	Die Richtung des Sehens. . . . .	741
	Das Innervationsgefühl der Augenmuskeln controllirt durch die Bilder, der Schwindel 741—751. Das Centrum der Sehrichtungen 751—757. Localisation der subjectiven Erscheinungen 758—764. Geschichtliches 765—766.	
§. 30.	Wahrnehmung der Tiefendimension. . . . .	766
	Monoculare Wahrnehmung der Tiefendimension 766—781. Binoculare Tiefenwahrnehmung 781—795. Die unvollkommene Beurtheilung der Convergenz und ihre Folgen; Reliefbilder 795—812. Geometrische Darstellung der stereoskopischen Projection 812—823. RECKLINGHAUSEN's Normalfläche 823—829. Verschiedene Formen des Stereoskops 829—838. Geschichtliches 838—841.	
§. 31.	Das binoculare Doppeltsehen. . . . .	841
	Bestimmung der correspondirenden Punkte beider Sehfelder 841—860. Der Horopter 860—867. Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung 867—874. Trennung und Verschmelzung der Doppelbilder 874—895. Geometrische Darstellung der correspondirenden Punkte und des Horopters 895—913. Geschichtliches 913—915.	
§. 32.	Wettstreit der Sehfelder. . . . .	915
	Wettstreit der Contouren 916—924. Wettstreit der Farben 924—932. Glanz 932—936. Contrast 936—945. Geschichtliches 945.	
§. 33.	Kritik der Theorien. . . . .	945
	Die Grundlagen der empiristischen Theorie 945—955. PANUM's Theorie 955—960. HENNING's Theorie 960—971.	

## SACH- UND NAMENREGISTER.

Sachregister . . . . .	975
Personenregister . . . . .	988
Berichtigungen . . . . .	1007

## ÜBERSICHT ÜBER DIE PHYSIOLOGISCH-OPTISCHE LITTERATUR.

Vorbemerkung . . . . .	1011
Inhaltsverzeichniss . . . . .	1013
Litteraturübersicht . . . . .	1015
Autorenregister . . . . .	1311



# Anatomische Beschreibung des Auges.

---





Thierformen bewirken die Pigmentscheiden der lichtempfindenden Nerven, daß Licht nur von der freien Seite auf das Ende der Faser falle und mit Hülfe von Bewegungen seines Körpers wird ein Thier mit Augenpunkten schon ermitteln können, von welcher Seite das Licht kommt, ebenso wie der Mensch durch sein Hautgefühl die Richtung strahlender Wärme wahrnimmt, oder ein Kranker mit vollständig gekrümmter Krystalllinse den Ort der Fenster eines Zimmers ermittelt. In dieser Hinsicht haben die Pigmentscheiden der Augenpunkte offenbar einen sehr großen Nutzen. Wo, wie bei den Blutegehn und Planarien, vor der Netzhaut noch ein durchsichtiger kugelförmiger oder kegelförmiger Körper vorhanden ist, können schon verschiedene Theile der Netzhaut von dem aus verschiedenen Richtungen einfallenden Lichte verschieden stark getroffen werden. In diesen Fällen findet ein allmählicher Fortschritt der Ausbildung statt durch die einfachen Augen der Crustaceen, Arachniden und Insecten, welche meist nur aus der Hornhaut noch eine Linse und einen Glaskörper unterscheiden zu denen der Mollusken und namentlich der Cephalopoden, welche denen der Wirbelthiere schon sehr ähnlich sehen. Da die mikroskopischen Elemente der thierischen Gewebe, namentlich auch die des Nervensystems in allen Klassen ziemlich gleiche Größe besitzen, und die Genauigkeit des Sehens wesentlich zusammenhängt mit der Menge einzelner empfindlicher Elemente, die Zahl dieser aber nahehin proportional sein muß der Oberfläche des Glaskörpers der einfachen Augen, so ist im Allgemeinen anzunehmen, daß die Genauigkeit des Sehens dieser Augen ihren Dimensionen direct proportional ist.

3 Vom Auge des Menschen habe ich in *Fig. 1.* einen horizontalen durchschnitten abgebildet in viermaliger Vergrößerung; das Auge der Wirbelthiere ist dem menschlichen im wesentlichen ähnlich gebaut. Diese Augen bestehen aus folgenden durchsichtigen Theilen ein:

- 1) die wässrige Feuchtigkeit in der vorderen Augenkammer *E*
- 2) die Krystalllinse *A*.
- 3) den Glaskörper *C*.

Umschlossen sind diese Theile von drei in einander liegenden Systemen von Membranen:

1) System der Netzhaut *i* und *Zonula Zinnii e*, schließt zu dem Glaskörper ein und heftet sich vorn an die Linse *A*.

2) System der *Uvea*, besteht aus der durch einen stärkeren schwarzen Strich angedeuteten Aderhaut (*Chorioidea*) *g*, dem Ciliarkörper *f* der Regenbogenhaut (*Iris*) *b*. Es umschließt das vorige System die Linse und hat nur an der vorderen Seite vor der Linse eine Oeffnung, die Pupille.

3) Die feste Kapsel des Augapfels, welche in ihrem größeren hinteren Theile aus der undurchsichtigen weißen Sehnenhaut (*Sclerotica*) und in dem kleineren vorderen aus der durchsichtigen knorpeligen Hornhaut (*Cornea*) gebildet wird. Am lebenden Auge sieht man zwischen den Augenlidern den vorderen Theil der Sehnenhaut (das Weiße) und hinter der durchsichtigen



und hervorspringenden Hornhaut die braun- oder blaugefärbte ringförmige Iris, in deren Mitte die schwarze Pupille.

Eine Linie, welche durch den Mittelpunkt der Hornhaut und durch den Mittelpunkt des ganzen Auges geht, nennt man die Axe des Auges, weil das Auge wenigstens annähernd einem Rotationskörper mit dieser Axe entspricht. Eine darauf senkrechte Ebene, welche durch die größte Weite des Augapfels geht, nennt man dagegen die Äquatorialebene.

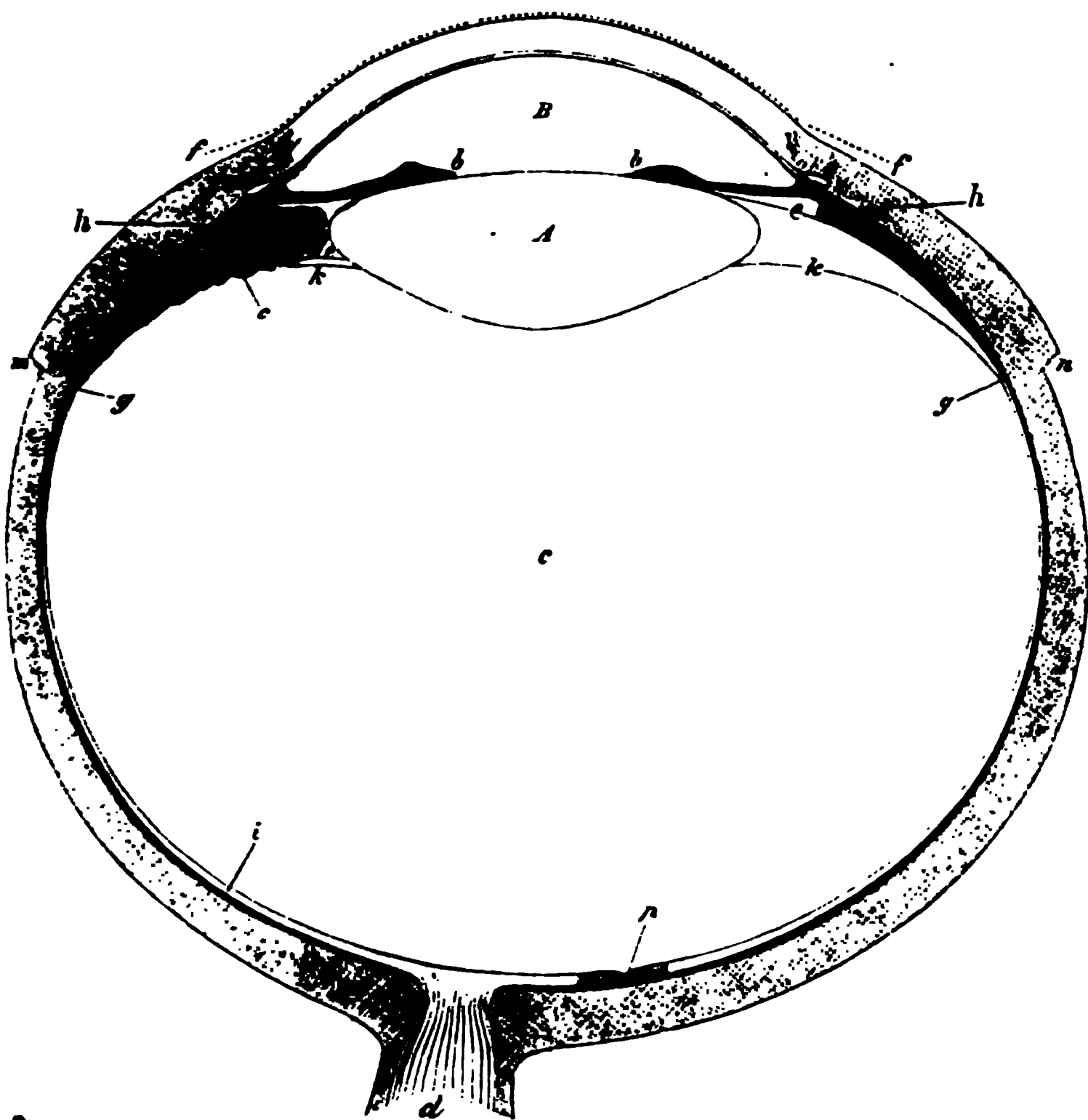


Fig. 1.

Ich werde im Folgenden eine Beschreibung der einzelnen Theile des Auges geben, dabei aber natürlich nur so weit in Einzelheiten gehen, als es für das Verständniss der Functionen des Auges nothwendig ist.

## § 2. Sehnenhaut und Hornhaut.

Die Sehnenhaut des Auges (*σκληρόν*, *tunica albuginea*, *sclerotica*, *dura*, harte Haut) umschließt den größeren Theil des Augapfels, bedingt seine Gestalt und schützt ihn vor äußeren Einwirkungen. Ihre äußere Form weicht merklich von der einer Kugel ab; ihre hintere Seite ist nämlich abgeplattet, und im Äquator wird sie oben und unten, rechts und links durch







Ocular eines schwach vergrößernden Mikroskops, theils mit einem quadratischen Drahtnetz, welches auf die Oberfläche der Flüssigkeit gelegt wurde. Er hatte vielfach Gelegenheit sehr frische Augen anzuwenden; bei diesen können die äußeren Messungen der Sclerotica als hinreichend zuverlässig angesehen werden, die Wölbung der Hornhaut, deren Größe vom Drucke der Flüssigkeiten abhängt, ist aber wohl an den durchschnittenen Augen beträchtlich verändert gewesen.

Ich gebe hier KRAUSE's Tafel für die Form von 8 Augäpfeln.<sup>1</sup> Es ist Nr. I von einem 30jährigen ertrunkenen Manne, Nr. II das rechte Auge eines 60jährigen Mannes, durch einen Schnitt in den Hals getödtet, Nr. III und IV das linke und rechte Auge eines 40jährigen Mannes, erhängt, Nr. V und VI das linke und rechte Auge eines 23jährigen, Nr. VII und VIII dieselben eines 21jährigen Mannes, die beiden letzten mit dem Schwerte hingerichtet. Die Maaße sind in Pariser Linien angegeben.

Axe des Auges	Durchmesser
---------------	-------------

BÄCKE hat Messungen an Augen angestellt, welche durch einen Wasserdruck von 4 Decimeter gespannt waren, und giebt an, daß die Axe des Augapfels zwischen 23 und 26 mm betrage, der größte horizontale Durchmesser zwischen 22,8 und 26 mm, der größte verticale zwischen 21,5 und 25 mm.

C. KRAUSE vergleicht die innere Wölbung der Sclerotica mit der Fläche eines Rotationsellipsoides; die Axen, welche er berechnet hat, und seine Angaben über Dicke der Hornhaut und Sclerotica an verschiedenen Stellen führe ich hier noch an

Nr.	Dicke der Sehnenhaut			Halbe Axen des Ellipsoides der inneren Wölbung		Dicke der Hornhaut	
	in der Augenaxe	am Äquator.	am vorderen Rande.	große	kleine	Mitte	Rand
I.	0,55	0,45	0,35	5,12	4,45	0,4	0,5
II.	0,5	0,35		5,05	4,15	0,35	0,5
III.	0,45	0,4	0,35	5,12	4,23	0,4	0,5
IV.	0,5	0,4	0,3	5,07	4,41	0,4	0,45
V.	0,65	0,4	0,3	5,14	4,58	0,5	0,55
VI.	0,65	0,5	0,3	5,05	4,43	0,48	0,55
VII.	0,55	0,5	0,4	5,05	4,41	0,53	0,63
VIII.	0,6	0,5	0,4	4,93	4,19	0,5	0,62

<sup>1</sup> Zusammenstellungen von Messungen s. in ZEHENDER, *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges*, Erlangen 1856, und MERKEL, *Mikroskopische Anatomie des Auges*, (GRAEFE und SAEMISCH *Handbuch der Augenheilkunde*, Leipzig 1874. Bd. I. Th. 1) S. 44.









Es sei in *Fig. 5*  $A_1 A_1 A_2 A_2$  eine der Glasplatten,  $a_1 c_1$  der einfallende,  $c_1 c_2$  der gebrochene,  $c_2 a_2$  der hindurchgegangene Strahl;  $b_1 c_1 d_1$  das erste,  $b_2 c_2 d_2$  das zweite Einfallslot. Der Einfallswinkel  $b_1 c_1 a_1$ , welcher dem Winkel  $b_2 c_2 a_2$  gleich ist, werde mit  $\alpha$ , der Brechungswinkel  $d_2 c_1 c_2$ , welcher gleich ist mit  $c_1 c_2 d_1$ , mit  $\beta$  bezeichnet und die Dicke der Platte mit  $h$ . Wird der Strahl  $a_2 c_2$  rückwärts verlängert, so scheint der leuchtende Punkt  $a_1$  für ein unterhalb der Platte befindliches Auge in dieser Verlängerung von  $a_2 c_2$  zu liegen. Fällt man von  $a_1$  ein Loth  $a_1 f$ , dessen Länge wir  $x$  nennen wollen, auf die genannte Verlängerung, so ist dies  $x$  die scheinbare seitliche Verschiebung des leuchtenden Punktes. Es ist .

$$\begin{aligned} x &= c_1 c_2 \cdot \sin \angle c_1 c_2 f \\ c_1 c_2 &= \frac{h}{\cos \beta} \\ \angle c_1 c_2 f &= \angle d_1 c_2 f - \angle d_1 c_2 c_1 \\ &= \alpha - \beta \\ x &= h \cdot \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta} . \end{aligned}$$

Der Winkel  $\alpha$  wird durch das Instrument gemessen; die Dicke der Glasplatte  $h$  muß bekannt sein, ebenso ihr Brechungsverhältniß  $n$  gegen Luft. Dann ist

$$\sin \alpha = n \cdot \sin \beta .$$

Aus dieser Gleichung ist  $\beta$  zu finden, und dann sind alle Stücke zur Berechnung von  $x$  bekannt. Benutzt man zwei drehbare Platten, wie in dem Instrumente, welches ich beschrieben habe, geschieht, so ist die Entfernung  $E$  zweier beobachteten Punkte, deren Bilder man auf einander gestellt hat, doppelt so groß als  $x$ , also

$$E = 2h \cdot \frac{\sin (\alpha - \beta)}{\cos \beta} . . . . . 1)$$

Die Werthe von  $n$  und  $h$ , die bei dieser Rechnung nöthig sind, findet man am besten durch Ausmessung der Theile eines guten Millimetermaafsstabs mit dem Instrument. Man stellt den Maafsstab horizontal in passender Entfernung vor dem Instrumente auf, senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs gerichtet, und achtet darauf, daß bei der Drehung der Platten die Längskanten des Stabes genau in sich selbst verschoben werden. Am genauesten, finde ich, sind die Doppelbilder so einzustellen, daß die Theilstriche des einen die Zwischenräume des andern genau halbiren, so daß die gegenseitige Verschiebung der Bilder 0,5 oder 1,5 oder 2,5 u. s. w. Millimeter beträgt. Dann erscheint der Stab wie in halbe Millimeter eingetheilt, und man erkennt sehr sicher, ob die einzelnen Intervalle alle gleich, oder abwechselnd größer und kleiner sind. So bekommt man eine Reihe von Werthen des Winkels  $\alpha$ , die zu gegebenen Entfernungen  $E$  gehören.

Seien  $E$  und  $E_1$  zwei verschiedene Werthe von  $E$ ,  $\alpha$  und  $\alpha_1$  sowie  $\beta$  und  $\beta_1$  die dazu gehörigen Werthe der Winkel, so ergiebt Gleichung 1)

$$\frac{E_1}{E} = \frac{\sin (\alpha_1 - \beta_1) \cdot \cos \beta}{\sin (\alpha - \beta) \cdot \cos \beta_1} = \epsilon$$

worin  $\epsilon$  nur eine kürzere Bezeichnung für das Verhältniß der beiden  $E$  ist. Indem man die Sinus der Differenzen auflöst, und  $\sin \beta = \frac{1}{n} \cdot \sin \alpha$  setzt, erhält man:

$$\sin \alpha_1 \cdot [n \cdot \cos \beta_1 - \cos \alpha_1] \cdot \cos \beta = \epsilon \cdot \sin \alpha \cdot [n \cdot \cos \beta - \cos \alpha] \cdot \cos \beta_1 ,$$

oder

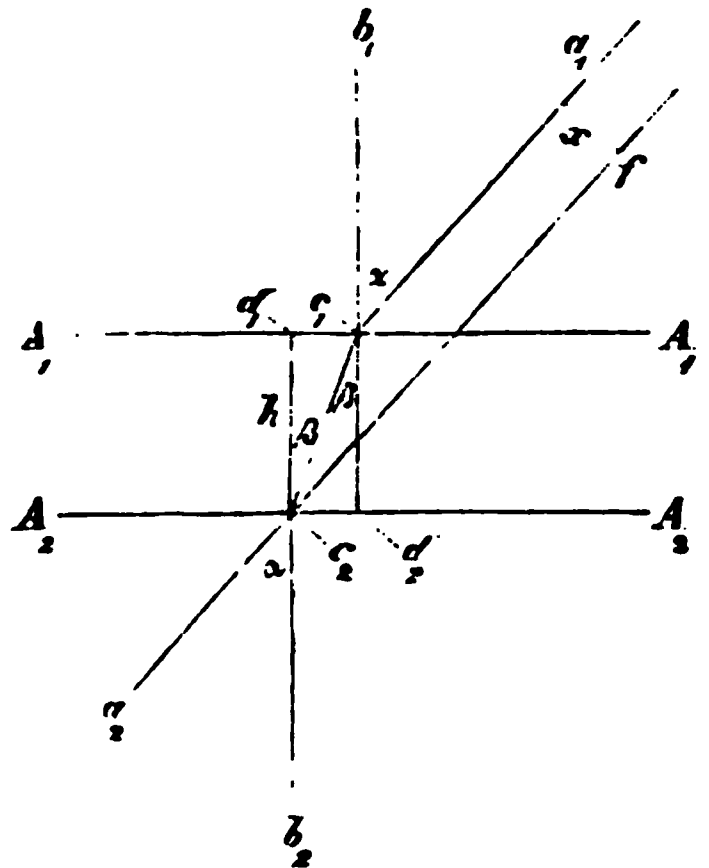


Fig. 5.





müssen den Theilstrichen *E* und *F* entsprechen. Hinter den Schirmen werden Linsen angebracht, deren Licht durch die Öffnungen auf das Auge *O* fällt. Die Linie, deren eines Ende somit durch einen lichten Punkt, das andere durch zwei bezeichnet wird, ist das Object, dessen Spiegelbild in der Hornhaut gemessen werden soll. Nun noch die Stellung des Ophthalmometers *M* zu bestimmen, bringt man an den Theilstrich *C* einen durch ein Gewicht gespannten Faden, visirt an diesem vorbei nach der Mitte der Öffnung des Schirmes *S*, durch welche das Auge *O* sieht, und läßt, so wie sie vom Faden gedeckt wird, auf der Tischplatte eine Linie ziehen, auf welcher der Mittelpunkt des Fusses des Ophthalmometers sich befinden muß. Hat man das Ophthalmometer fest aufgestellt, auf das Auge *O* gerichtet, und für dasselbe eingestellt, so merkt man jede Verschiebung des Auges senkrecht gegen die Axe des Fernrohrs, und daß es im Gesichtsfelde die Mitte des Fadenkreuzes verläßt, und kann seine Stellung verbessern lassen. Außerdem kann sich das Auge auch nicht viel in Richtung der Gesichtslinie des Beobachters nähern oder entfernen, ohne daß sein Bild undeutlich wird. So ist die Stellung des Auges bis auf wenige Linien gesichert, und zugleich läßt sich die Stellung, welche es hatte, nach beendeter Beobachtung leicht ermitteln, indem man irgend einen Körper aufstellt, der in der Mitte des Gesichtsfeldes des Fernrohrs deutlich erscheint. Ein solcher muß alsdann auch an dem früheren Orte des Auges stehen, von ihm aus können die Entfernungen des Auges von der Scale und anderen Punkten mit Bequemlichkeit abgemessen werden.

Die Richtung des Auges kann sehr gut gesichert werden, wenn man ihm einen bestimmten Gesichtspunkt anweist, und indem man die Lage dieses Punktes ändert, so man auch Drehungen des Auges um genau meßbare Winkel hervorbringen kann.

Will man nur den Krümmungsradius der Hornhaut für ihre Mitte kennen lernen, so läßt man das Auge *O* nach der Mittellinie des Ophthalmometers sehen, zu welchem Ende man in der vorderen Öffnung des Instruments ein Kreuz von zwei feinen weißen Fäden anbringen kann. Bezeichnet man die Länge *EF* mit *b*, die Größe des Spiegelbildchens in der Hornhaut mit  $\beta$ , und die Länge *CO* mit *a*, so ist der Krümmungsradius *r* jetzt nahezu:

$$r = \frac{2a \cdot \beta}{b}, \dots \dots \dots$$

wenn man nämlich, sowohl *r* gegen *a*, als auch den Unterschied der Tangente und Sinus des Winkels  $\frac{1}{2} EOC$  vernachlässigt. Erlaubt man sich das letztere nicht, so erhält man die genauere Formel:

$$r = \frac{\beta}{2 \sin \left[ \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{b}{2a} \right) \right]} \dots \dots \dots$$

welcher letztere Werth von *r* bei den oben angegebenen Dimensionen des Apparats nur um  $\frac{1}{2}$  Proc. von dem der ersten Formel abweicht.

Die Richtigkeit jener ersten abgekürzten Formel leuchtet leicht ein aus den bekannten katoptrischen Gesetzen. Die Brennweite eines convexen Spiegels ist gleich dem halben Radius, also  $\frac{1}{2} r$ . Das Bild eines weit entfernten Gegenstandes liegt nicht merklich vom Hauptbrennpunkte des Spiegels entfernt, und die Größe des Objects und seines Bildes verhalten sich zu einander wie ihre Entfernungen von der Kugelfläche. Also

$$b : \beta = a : \frac{1}{2} r,$$

woraus sich unmittelbar der angegebene Wert von *r* ergibt.

Kann man die Theile des Apparates ein für alle mal fest aufstellen, so ist die Messung der Hornhautkrümmungen verschiedener Augen außerordentlich leicht und schnell zu vollziehen. Man braucht nur eine Beobachtung durch das Ophthalmometer für den abgelesenen Winkel entnimmt man aus der Tabelle den Werth von  $\beta$ , und multiplicirt ihn mit dem constanten Factor

$$\frac{2a}{b} \text{ oder } \frac{1}{2 \sin \left[ \frac{1}{2} \arctan \left( \frac{b}{2a} \right) \right]}.$$





























gleichzeitig auf den anderen Rand, so verschiebt er das Zeichen  $F$  so lange an der Scale, bis dies der Fall ist, und merkt den Theilstrich der Scale, wo  $F$  steht. Dasselbe Verfahren wird wiederholt bei der zweiten Stellung des Ophthalmometers in  $G_2$ .

Die Länge  $AB$  ist in Scalentheilen zu messen; daraus ist der Winkel  $FAB$  zu finden.

$$\frac{FB}{AB} = \text{tang. } \angle FAB.$$

Ist  $AH$  die grofse Axe des Hornhautellipsoides und der Winkel  $FAH$  schon bekannt, so ergibt sich daraus  $BAH$ , welchen Winkel man braucht, um die Lage des Spiegelbildes der Hornhaut zu bestimmen. Eben so bestimmt man den Winkel  $G_1AH$ , welcher die Richtung bestimmt, in welcher der Beobachter in das Auge gesehen hat. Der Mittelpunkt der scheinbaren Pupille (d. h. wie diese durch die Hornhaut erscheint) liegt dann also in einer mit  $G_1A$  parallelen Linie, welche durch den scheinbaren Ort des Hornhautbildchens gelegt ist.

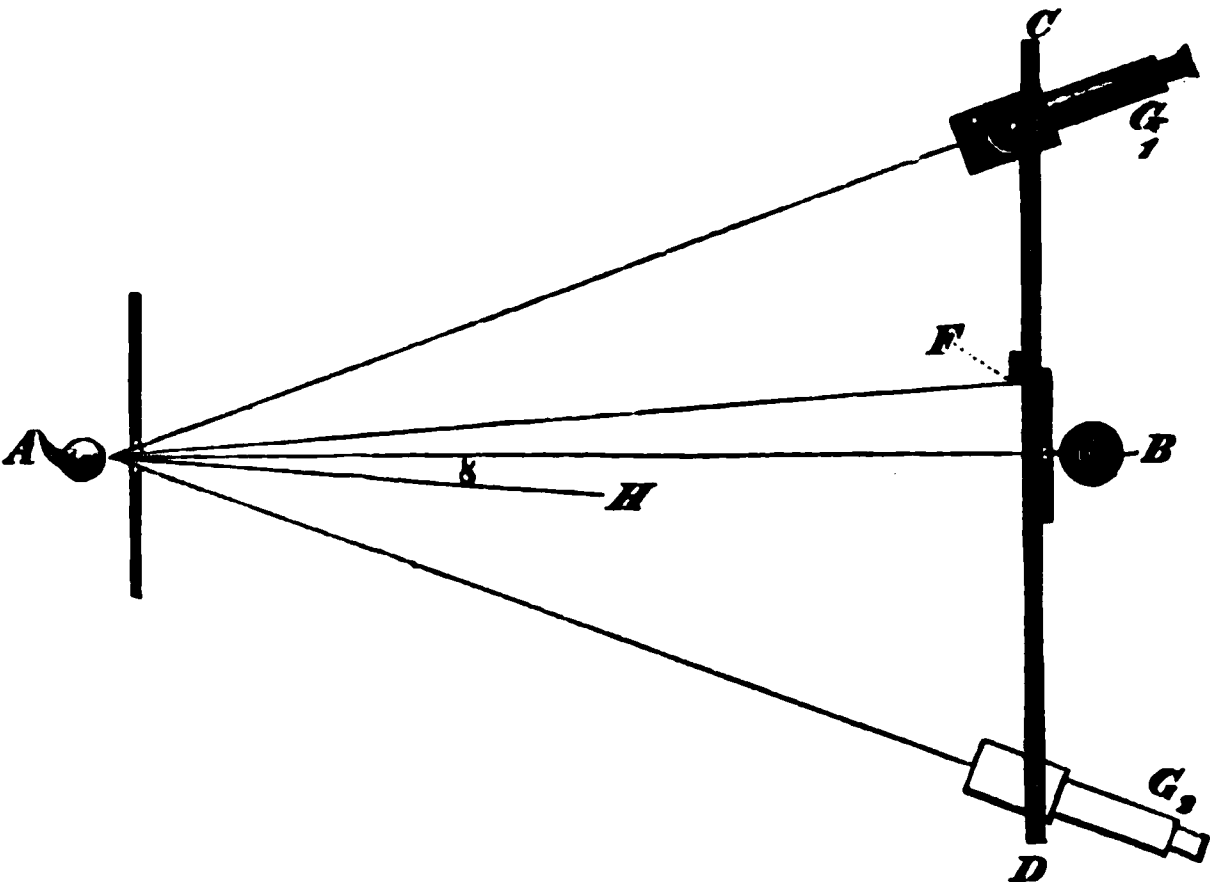


Fig. 15.

Wie aus der scheinbaren Lage des Mittelpunktes der Pupille seine wirkliche Lage berechnet werden kann, wird sich in § 9 und 10 ergeben<sup>1</sup>.

Die Resultate für die drei Augen, für deren Hornhäute ich die Abmessungen mit dem Ophthalmometer bestimmt habe, waren folgende:

		O. H.	B. P.	J. H.
Abstand der Pupillarebene vom Scheitel der Hornhaut	{ scheinbar	3,485	3,042	3,151
	{ wirklich	4,024	3,597	3,739
Abstand des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe nach der Nasenseite . . . . .	{ scheinbar	0,037	0,389	0,355
	{ wirklich	0,032	0,333	0,304

Die Bestimmungen von KNAPP<sup>2</sup> nach derselben Methode ergaben für vier Augen:  $n$  3,692; 3,707; 3,477; 3,579 mm. ADAMÜCK und WOINOW<sup>3</sup> fanden 3,998; 3,237; 2,900 und 3,633 mm.

DONDERS<sup>4</sup> construirte für diese Messung das Cornealmikroskop, ein verschiebbares, schwach vergrößerndes Mikroskop, dessen Verschiebung genau abgelesen werden kann, und welches man zuerst auf die (nöthigenfalls mit Kalomel bepuderte) Vorderfläche der Hornhaut, dann auf den Pupillarrand einstellt. Die Verschiebung ergibt zunächst die scheinbare Tiefe der Kammer, aus der die wahre zu berechnen ist.

<sup>1</sup> H. HELMHOLTZ, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. I. (2) S. 31. 1854.

<sup>2</sup> H. KNAPP, *Krümmung der Hornhaut*. Heidelberg 1859. p. 30. — *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* VI. (3) S. 1. 1860.

<sup>3</sup> E. ADAMÜCK und M. WOINOW, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. XVI. (1) S. 144. 1870.

<sup>4</sup> F. C. DONDERS, 1872 dem Londoner Ophthalmologischen Congress mitgetheilt. *Zehender's Monatsblätter für Augenheilkunde*. 1872. p. 300.

Eine etwas abweichende Methode ist von den Herren MANDELSTAMM und SCHÖN im Berliner Physikalischen Laboratorium ausgeführt, und später von Herrn REICH<sup>1</sup> gewendet und vollständiger beschrieben. Dabei sucht man das Mikroskop gleich auf den Rand der Pupille und ein von der Cornea entworfenen Spiegelbild einzustellen. Damit man dies kann, müssen beide scheinbar in gleicher Ebene liegen. Das Cornealbild ist das durch eine kleine verschiebbare Sammellinse ( $3\frac{1}{2}$  Zoll Brennweite) entworfenes Bild einer fernen Flamme, dessen Strahlen durch eine zwischen Mikroskop und Auge befindliche unbelegte spiegelnde Glasplatte von vorn her auf die Hornhaut geworfen werden. Die Linse steht der spiegelnden Platte ziemlich nahe seitwärts von der des Mikroskops. Darauf bestimmt man nach Entfernung des beobachteten Auges, welcher Entfernung vom Objectiv des Mikroskops sich das von der Linse projecirte reelle Bild der Flamme einerseits und die scheinbare Pupille anderseits befanden, welche dem von der Hornhaut entworfenen Spiegelbilde der Flamme zusammenfiel. Kennt man den Krümmungsradius der Hornhaut, so genügt dies, um den Abstand des Spiegelbildes bezüglich der scheinbaren Pupille von der Hornhautfläche zu berechnen. Der Hornhautradius kann, wenn keine große Genauigkeit verlangt wird, auch mit dem Cornealmikroskop gemessen werden, wenn man zwei Flammenreflexe erzeugt, und deren Abstand durch eine im Brennpunkt des Oculars angebrachte Glasplatte misst, auf die eine Scala Zehntel Millimeter eingeschnitten ist.

Die Messungen von Herrn REICH ergaben für drei Personen im Ruhezustand des Auges (Accommodation für die Ferne):

Wirkliche Tiefe der vorderen Kammer in Millimeter.

	Ophthalmometer	Mikroskop
H. H.	3,6696	3,639
H. G.	3,636	3,708
H. S.	—	3,6516

Herr REICH fand, daß Wiederholung der Messungen dieser Tiefe mit dem Mikroskop bessere Übereinstimmung ergab, als mit dem Ophthalmometer. In der That können Schwankungen in der Weite der Pupille einen nachtheiligen Einfluß bei der letzten Messung haben, wenn dabei auch der Mittelpunkt der Pupille seine Lage ändern sollte.

Daß die Iris der Linse anliege und nach vorn gewölbt sei, ist von den Anatomen vielfach bestritten worden. Die älteren Anatomen nahmen es an, bis namentlich PERRIN auf Grund seiner Untersuchungen an gefrorenen Augen, das Gegentheil behauptete und zwischen Iris und Linse die sogenannte hintere Augenkammer annahm. In gefrorenen Augen findet man bald dünne Eisblätter zwischen Iris und Linse, bald nicht. Die Meinung von PERRIN folgten fast alle späteren Anatomen, bis in der neuesten Zeit STRICKLAND von CANNON und CRAMER sich wieder für die enge Anlagerung der Iris an die Linse erklärten. Ich selbst fand es möglich, in der oben beschriebenen Weise direkte Beobachtungen dafür zu liefern, welche mir keinen Zweifel übrig zu lassen scheinen.

#### § 4. Die Netzhaut.

Die Netzhaut (*Retina*) ist eine flächenförmige Ausbreitung von Nervengewebe, im Hintergrunde des Auges zwischen Aderhaut und Glaskörper gelegen. Sie ist frisch ziemlich durchsichtig, an toten Augen weißlich trüblich.

<sup>1</sup> Vgl. MANDELSTAMM u. H. SCHÖN, *Zeitschr. f. Physik* XVIII 1 S. 155. 1872.  
<sup>2</sup> Vgl. REICH, *Zeitschr. f. Physik* XX 1 S. 27. 1874.





























der inneren Fläche der Augenlider unter der Bindehaut liegen. Ihre Ausführungsgänge öffnen sich längs der hinteren Kante der Augenlidränder. Dieses fettige Secret haftet meistens wohl nur an den Rändern der Lider und verhindert das Ueberfließen der wässrigen Thränen; es kann sich auch in öligen Tropfen über die Hornhaut verbreiten, namentlich bei starken Bewegungen der Lider. 2) Der Schleim der Schleimdrüsen der Bindehaut, welche am zahlreichsten am Rande der Falten zwischen den Lidern und dem Augapfel sich vorfinden. 3) Die Thränenflüssigkeit, abgesondert von den Thränenrüsen, von denen je zwei auf jeder Seite im oberen äußeren Theile der Augenhöhle liegen. Sie ergiessen ihr wässriges Secret, welches nur etwa 1 Proc. feste Substanzen enthält, durch 7 bis 10 feine Ausführungsgänge oberhalb des äußeren Augenwinkels zwischen das obere Lid und den Augapfel. Von hier verbreitet es sich über die ganze Conjunctiva, und wird am inneren Augenwinkel durch zwei feine Öffnungen, die Thränenpunkte aufgenommen, die Mündungen der beiden Thränenkanälchen, welche in einen weiteren Kanal, *Ductus nasolacrymalis*, und endlich in die Nase führen.

Die Bindehaut des Auges ist außerordentlich empfindlich. Jede leiseste Berührung eines fremden Körpers erregt Schmerz und eine unwillkürliche Bewegung der Augenlider, das Blinzeln. Dadurch und durch die fortwährend über die Bindehaut hinsickernde Thränenfeuchtigkeit wird die vordere Fläche der Hornhaut stets rein und glänzend erhalten, was ein nothwendiges Erforderniß für deutliches Sehen ist. Größere in der Luft schwebende Staubtheilchen, Insecten u. s. w. werden außerdem durch die Wimpern abgefangen.

---



# Physiologische Optik.





## § 8. Eintheilung des Gegenstandes.

Die physiologische Optik ist die Lehre von den Wahrnehmungen 30 durch den Gesichtssinn. Wir sehen die Objecte der Außenwelt durch Vermittelung des Lichts, welches von ihnen her in unser Auge fällt. Dies Licht trifft die Netzhaut, einen empfindungsfähigen Theil unseres Nervensystems, und regt in ihr Empfindungen an. Die Empfindungen, durch den Sehnerven dem Gehirne zugeleitet, werden die Veranlassung, daß unser Bewußtsein die Vorstellung von gewissen im Raume vertheilten Gegenständen bildet.

Demgemäfs zerfällt die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen in drei Abschnitte:

- 1) Die Lehre von den Wegen des Lichts im Auge. Da wir darin hauptsächlich mit Brechungen der Lichtstrahlen und nur ausnahmsweise mit spiegelnder oder diffuser Reflexion zu thun haben, können wir diesen Theil auch die Dioptrik des Auges nennen.
- 2) Die Lehre von den Empfindungen des Sehnervenapparats, in welcher die Empfindungen behandelt werden, ohne Bezug zu nehmen auf die Möglichkeit, äußere Objecte durch sie zu erkennen.
- 3) Die Lehre von dem Verständnisse der Gesichtsempfindungen oder die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen, welche von den Vorstellungen handelt, die wir auf Grund der Gesichtsempfindungen über die Objecte der Außenwelt uns bilden.

Die physiologische Optik unterscheidet sich also von der physikalischen Optik dadurch, daß erstere die Eigenschaften und Gesetze des Lichts nur in so fern behandelt, als sie zu den Gesichtswahrnehmungen in Beziehung stehen, während die physikalische Optik die Eigenschaften und Gesetze des Lichts untersucht, welche ihm unabhängig vom menschlichen Auge zukommen. Wenn die letztere auf das Auge Rücksicht nimmt, so benutzt sie es nur als experimentelles Hülfsmittel, als das bequemste Reagens, um das Dasein und die Verbreitung des Lichts zu erkennen und Licht verschiedener Art zu unterscheiden.









farbig, und das Mittel selbst erscheint gefärbt. Farblose durchsichtige Mittel sind solche, welche alle leuchtenden Strahlen ungeschwächt durchgehen lassen. Dieselben können dabei aber nichtleuchtende Strahlen absorbiren, z. B. Wärmestrahlen oder die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts, sich gegen solche also noch wie gefärbte Mittel gegen die leuchtenden Strahlen verhalten.

Bei der Absorption der Lichtstrahlen entstehen oft chemische Wirkungen; sie weilen wieder Licht, und wahrscheinlich immer Wärme. Wenn wieder Licht entsteht, so sendet jeder Theil des beleuchteten Mittels Licht nach allen Seiten aus, welches sich aber in der Farbe und Zusammensetzung von dem absorbirten Lichte unterscheidet; die Substanz wird selbstleuchtend. Man nennt dieses Selbstleuchten Phosphoreszenz, wenn es länger dauert als die Bestrahlung, dagegen Fluoreszenz oder wahre innere Dispersion, wenn es nur so lange dauert als die Bestrahlung. Bei der Fluoreszenz ist das von der Substanz entwickelte Licht meist von größerer Schwingungsdauer als das einstrahlende, seine Farbe und Zusammensetzung meist unabhängig von der des letzteren, es findet also eine Verlängerung der Schwingungsdauer (Verringerung der Brechbarkeit) statt, und es wird dadurch möglich, das wegen seiner zu geringen Schwingungsdauer nicht sichtbare oder kaum sichtbare Licht dem Auge sichtbar zu machen, indem man es auf eine fluorescirende Substanz (saures schwefelsäures Chinin, Uranglas, Aufguß von Roßkastanienrinne, Bernstein u. s. w.) fallen läßt, wobei es durch Fluoreszenz Licht größerer Schwingungsdauer erzeugt.

---



# Erster Abschnitt.

## Die Dioptrik des Auges.

### § 9. Gesetze der Brechung in Systemen kugeliger Flächen.

Der Gang der Lichtstrahlen im menschlichen Auge wird hauptsächlich 35 durch Brechung verändert. Es ist aber nicht bloß eine einzelne brechende Fläche vorhanden, sondern eine Reihe von solchen. Ich werde also die allgemeinen Gesetze der Lichtbrechung in einfach brechenden Mitteln und namentlich auch der Brechung in einer Reihe von gekrümmten Flächen, welche die Grundlage des vorliegenden Abschnitts bilden, vorausschicken.

An einer einzelnen brechenden Fläche ist die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls in folgender Weise bestimmt. In *Fig. 32* sei  $a b$

die Grenzfläche beider Medien, welche man die brechende Fläche nennt;  $f c$  sei einer der darauf fallenden Lichtstrahlen,  $d e$  die im Punkte  $c$  auf  $a b$  senkrecht stehende Linie, welche man das Einfallslotz nennt,  $c h$  der zurückgeworfene und  $c g$  der gebrochene Strahl. Die Ebene, welche durch das Einfallslotz und den einfallenden Strahl zu legen ist, nennt man Einfallsebene, den Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und dem Einfallslotze den Einfallswinkel (in der Figur ist es der Winkel  $d c f$ , mit  $\alpha$  bezeichnet), den Winkel zwischen

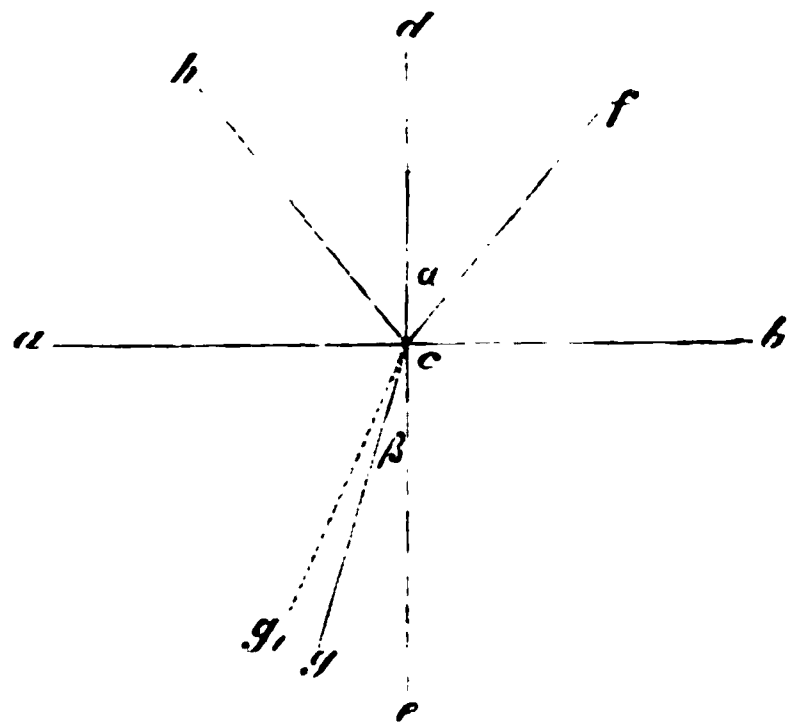


Fig. 32.

dem Einfallslotze und dem zurückgeworfenen Strahle den Reflexionswinkel 36 (in der Figur  $h c d$ ) und denjenigen zwischen dem Einfallslotze und dem gebrochenen Strahle ( $g c e$  oder  $\beta$ ) den Brechungswinkel. Bei einfach brechenden Medien ist dann die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls dadurch gegeben, daß erstens beide in der Einfallsebene liegen, und daß zweitens der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist, der Brechungswinkel aber von dem Einfallswinkel in der Weise abhängt, daß ihre Sinus





Für diejenigen meiner Leser, welchen die Resultate der physikalischen Optik nicht vollständig geläufig sind, schalte ich hier einen kurzen Abriss der wesentlich Eigenthümlichkeiten des Lichts ein, welche für die physiologische Optik von Wichtigkeit sind, und gebe die Definitionen der physikalischen Begriffe, mit denen wir der Folge zu thun haben werden.

Das Licht wird von der Mehrzahl der Physiker als eine eigenthümliche Bewegungsform eines hypothetischen Mediums, des Lichtäthers, angesehen, und wollen uns dieser Ansicht, der Undulationstheorie, die sehr vollständig allen Erscheinungen Rechenschaft giebt, anschließen.

Die Art der Bewegung der Aethertheilchen längs eines Lichtstrahls, welche die Undulationstheorie ihren Folgerungen zu Grunde legt, versinnlicht man sich am leichtesten, wenn man einen nassen Faden oder eine feine Kette *A*

31

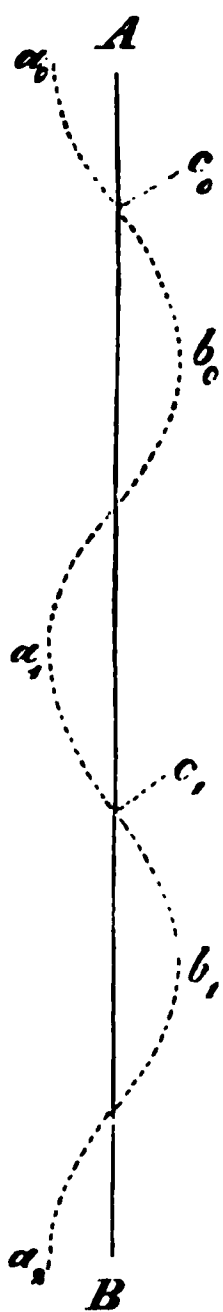


Fig. 31.

*Fig. 31*, indem man sie am oberen Ende bei *A* mit der Hand fest senkrecht herabhängen lässt, und nun die Hand seitlich hin und her bewegt. Der Faden biegt sich dann zu einer Wellenlinie, wie sie durch die gestrichelte Linie der Figur angedeutet ist, welche Wellenlinie fortdauernd vom oberen zum unteren Ende herabläuft. Bei den Wellen, die sich längs des Fadens von oben nach unten fortpflanzen, bleibt jedes einzelne Theilchen des Fadens immer in gleicher Höhe über dem Boden, wobei es entweder in geraden Linien von rechts nach links, oder von vorn nach hinten hin und her schwanken, oder auch horizontalen, kreisförmigen oder elliptischen Bahnen um seine mittlere Gleichgewichtslage sich bewegen kann, je nachdem sich die Hand, welche den Faden hält, von rechts nach links, oder von vorn nach hinten, oder in geschlossenen krummen Linien bewegt.

Ganz ähnlich der Bewegung der einzelnen Theile des Fadens wäre die Bewegung einer Reihe von Äthertheilchen sein, längs welcher sich ein Lichtstrahl fortpflanzt. Jedes einzelne Theilchen des Äthers bleibt fortdauernd in der Nähe seiner ursprünglichen Ruhelage, und bewegt sich in geraden oder gekrümmten Bahnen um diese. Was sich als Licht fortbewegt, sind nicht die Äthertheilchen selbst, sondern nur die Wellenform, in welche sie sich während ihrer Bewegung ordnen, in ihren verschiedenen Abwechselungen (Phasen) von Ausweichung und Geschwindigkeit.

Die Bahnen der Äthertheilchen bei der Lichtbewegung liegen in Ebenen, welche senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung der Wellen sind, ganz wie bei unserem Faden, wo die Wellen in verticaler Richtung nach dem Boden hin laufen, und jeder einzelne Theil des schwingenden Fadens stets in gleicher Höhe über dem Boden eine horizontale Bahn beschreibt. Dadurch unterscheiden sich die Lichtwellen von den Wellen elastischer Flüssigkeiten, z. B. von der Schallbewegung der Luft, bei welcher die Theilchen parallel der Fortpflanzungsrichtung oscilliren.

Wenn die Bahn der schwingenden Äthertheilchen in einem Lichtwellenzug geradlinig ist, nennt man das Licht geradlinig polarisirt; wenn die Bahn kreisförmig oder elliptisch ist, nennt man das Licht dagegen kreisförmig oder elliptisch polarisirt, wobei die Drehung rechts oder links herum geschehen kann. Zwei geradlinig polarisirte Strahlen, deren Schwingungsrichtungen auf einander senkrecht stehen, nennt man senkrecht gegen einander polarisirt.













alle auffallende Strahlen dargestellt ist.  $BB$  ist hier die brechende Kugel-  
fläche,  $C$  sind die einfallenden Strahlen,  $GFG$  die kaustisch  
Linie, welche durch die Durchschnitts-  
punkte je zweier zu  
nächst auf einande  
folgender gebrochene  
Strahlen gebildet wird.  
Die mittelsten Strahlen  
vereinigen sich in der  
Spitze dieser Linie  
bei  $F$ .

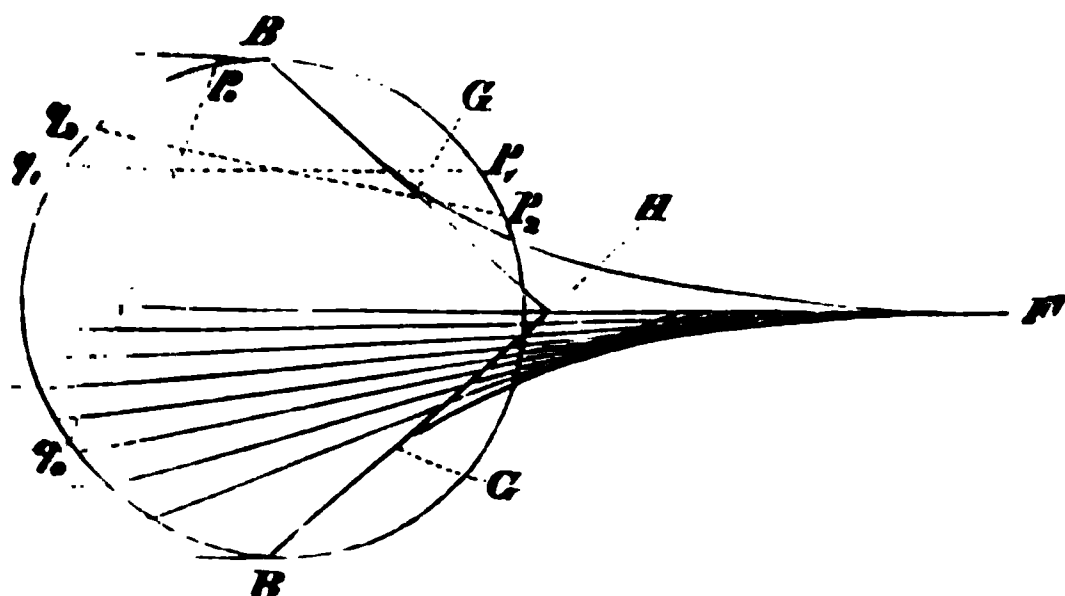


Fig. 40.

#### Beschränkung auf die mittleren Strahlen.

Bis hierher sind die entwickelten Gleichungen streng richtig. Von hier an  
len wir uns auf diejenigen Strahlen beschränken, welche nahe senkrecht auf die  
ebene Fläche, also sehr nahe der Axe auf sie fallen. Dann sehen wir aus  
*Fig. 39*, daß, wenn der Punkt  $c$  sehr nahe an  $b$  rückt, das Verhältniß

übergeht in  $\frac{bp}{bq}$ . Die Gleichung 2) wird dann also

$$\frac{n_2 \cdot bp}{n_1 \cdot bq} = \frac{ap}{aq} \dots \dots \dots 2b).$$

Bezeichnen wir den Radius  $ab$  der brechenden Fläche mit  $r$ , die Entfernung

$$\begin{aligned} bp & \text{ mit } f_1, \\ bq & \text{ mit } f_2, \\ ap & \text{ mit } g_1, \\ aq & \text{ mit } g_2. \end{aligned}$$

daß also

$$\left. \begin{aligned} f_1 + r &= g_1 \\ f_2 &= g_2 + r \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2c),$$

wird die Gleichung 2b)

$$\frac{n_2 \cdot f_1}{n_1 \cdot f_2} = \frac{f_1 + r}{f_2 - r} \text{ oder}$$

$$\frac{n_2 \cdot (g_1 - r)}{n_1 \cdot (g_2 + r)} = \frac{g_1}{g_2}.$$

Daraus erhält man durch eine leichte Umformung:

$$\left. \begin{aligned} \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} &= \frac{n_2 - n_1}{r}, \text{ oder} \\ \frac{n_2}{g_1} + \frac{n_1}{g_2} &= \frac{n_2 - n_1}{r}, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 3),$$

denen die gesuchte Größe  $f_2$  oder  $g_2$  zu bestimmen ist.







Wenn diese Winkel sehr klein sind, können wir ihre Cosinus gleich 1, ihre Sinus gleich dem Bogen setzen, und erhalten

$$n_1 \cdot p - n_2 \cdot q = (n_2 - n_1) \cdot \omega \quad 4a)$$

Das Product der Divergenzwinkel mit dem Brechungsverhältniß des Mediums, in welchem der Strahl verläuft, können wir die optische Divergenz der Strahlen nennen. Diese wird bei der Brechung verändert um eine GröÙe  $(n_2 - n_1) \cdot \omega$ , welche unabhängig von der Entfernung des leuchtenden Punktes ist.

Die optische Divergenz der Strahlen wird vermindert, wenn da stärker brechende Medium an der concaven Seite der Kugelfläche liegt; sie wird vergrößert im entgegengesetzten Falle. Erstere Flächen sind sammelnde, collective, letztere zerstreuende, dispersive. Man erkennt das leicht, wenn man die Strahlen der *Fig. 39* vorwärts und rückwärts gehen läßt, beziehlich  $n_2 < n_1$  annimmt.

Fällt man in beiden Fällen vom Einfallspunkt an der Kugelfläche ein Loth auf die Axe, welches mit  $\rho$  bezeichnet werde, und nennt die Entfernungen seines Fußpunkts vom leuchtenden Punkte  $f_1$ , von seinem Bilde  $f_2$ , und rechnet beide GröÙen bei Linsen, wie bei Spiegeln als positiv, wenn das Licht erst den Objectpunkt passirt, dann die Kugelfläche, dann das Bild: so kann der Divergenzwinkel der einfallenden Strahlen, wenn er sehr klein ist, durch seine Tangente  $\frac{\rho}{f_1}$  ersetzt

werden, der Convergenzwinkel der abgelenkten Strahlen durch  $\frac{\rho}{f_2}$ , der Winkel  $\omega$

durch  $\frac{\rho}{r}$ . Zugleich rückt bei Verkleinerung des Winkels  $\omega$  der Fußpunkt des

Lothes immer näher der Kugelfläche, so daß  $f_1$  und  $f_2$  die Entfernungen von Object und Bild von der Kugelfläche werden. Dann giebt Gleichung 4) für spiegelnde Kugelflächen unmittelbar

$$\frac{\rho}{f_1} + \frac{\rho}{f_2} = \frac{2\rho}{r},$$

oder

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{2}{r};$$

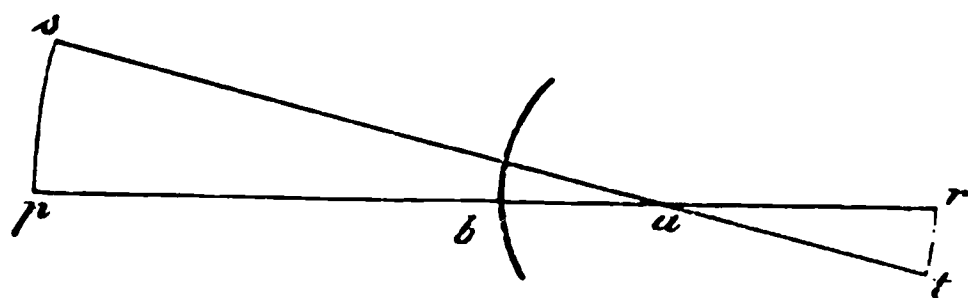
und Gleichung 4a) ergibt das Gesetz der Gleichung 3)

$$\frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r} \quad 5)$$

Man kann also das Gesetz der Bildabstände unmittelbar aus dem Divergenzgesetz herleiten.

Für ebene Flächen wird  $\omega = 0$ , also die optische Divergenz der Strahlen, durch Brechung und Spiegelung nicht geändert.

Abbildung flächenhafter Objecte durch eine brechende Kugelfläche.



*Fig. 42.*

Wenn seitwärts von dem leuchtenden Punkte in gleicher Entfernung von der brechenden Kugelfläche und ihrem Mittelpunkte  $a$  ein zweiter leuchtender Punkt  $s$  liegt, dessen Strahlen ebenfalls nur unter kleinen







$$\begin{array}{ll} p\ s \text{ mit } h_1, & q\ t \text{ mit } -h_2, \\ P_1\ s \text{ mit } -H_1, & t\ P_2 \text{ mit } -H_2, \end{array}$$

49

so ist

$$\begin{array}{ll} \alpha) & \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1 \\ \beta) & \frac{F_1}{\varphi_1} + \frac{F_2}{\varphi_2} = 1 \\ \gamma) & \varphi_1 - f_1 = h_1, \\ \delta) & \varphi_2 - f_2 = h_2, \\ \epsilon) & F_1 - f_1 = H_1, \\ \zeta) & F_2 - f_2 = H_2. \end{array}$$

Setzt man aus  $\gamma)$  und  $\delta)$  die Werthe von  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  in  $\beta)$ , so erhält man

$$\frac{F_1}{h_1 + f_1} + \frac{F_2}{h_2 + f_2} = 1, \text{ oder}$$

$$F_1 \cdot (h_2 + f_2) + F_2 \cdot (h_1 + f_1) = (h_1 + f_1) \cdot (h_2 + f_2).$$

Subtrahirt man hiervon die aus  $\alpha)$  abzuleitende Gleichung

$$F_1 \cdot f_2 + F_2 \cdot f_1 = f_1 \cdot f_2,$$

so erhält man als Rest

$$\begin{array}{l} F_1 \cdot h_2 + F_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2 + h_1 \cdot f_2 + h_2 \cdot f_1, \text{ oder} \\ (F_1 - f_1) \cdot h_2 + (F_2 - f_2) \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2, \end{array}$$

was vermöge der Gleichungen  $\epsilon)$  und  $\zeta)$  sich verwandelt in

$$H_1 \cdot h_2 + H_2 \cdot h_1 = h_1 \cdot h_2, \text{ oder}$$

$$\frac{H_1}{h_1} + \frac{H_2}{h_2} = 1 \quad . . . . . 7).$$

Wenn man also als Ausgangspunkte für die Messung der Abstände irgend ein Paar zusammengehöriger Vereinigungspunkte von Lichtstrahlen benutzt, kommt man immer wieder zu derselben einfachen Formel zurück. Da in der brechenden Fläche selbst und in ihrem Mittelpunkte der leuchtende Punkt mit seinem Gegenstande zusammenfällt, sind diese beiden Punkte ihre eigenen Bilder und die Formeln 3c) bilden deshalb nur spezielle Fälle von 7).

#### Abstände der Bilder von den Brennpunkten.

Wenn man den Punkt  $s$  in den ersten Brennpunkt verlegt, wird die Gleichung 7) unbrauchbar, weil  $H_2$  und  $h_2$  unendlich groß werden. Man findet aber die entsprechende Gleichung leicht aus der ersten der Gleichungen 3d):

$$f_1 = \frac{F_1 \cdot f_2}{f_2 - F_2}.$$

Zieht man von beiden Seiten  $F_1$  ab, so erhält man:

$$f_1 - F_1 = \frac{F_1 \cdot F_2}{f_2 - F_2} \quad . . . . . 7a).$$

Setzen wir hier  $f_1 - F_1 = l_1$ , und  $f_2 - F_2 = l_2$ , wobei  $l_1$  die Entfernung des leuchtenden Punktes vom ersten Brennpunkte aus nach vorn gerechnet,  $l_2$  die Entfernung seines Bildes vom zweiten Brennpunkte aus nach hinten sein würde, so erhalten wir die einfachste Form, in der sich das Gesetz für die Lage der Bilder darstellen läßt:

$$l_1 \cdot l_2 = F_1 \cdot F_2 \quad \dots \quad 7 \text{ b)}$$

In derselben Bezeichnungsweise wird das Gesetz für die GröÙe der Bilder, die Gleichung 6b)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\beta_1}{\beta_2} &= - \frac{l_1}{F_1} \text{ oder} \\ \frac{\beta_2}{\beta_1} &= - \frac{l_2}{F_2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 7 \text{ c)}$$

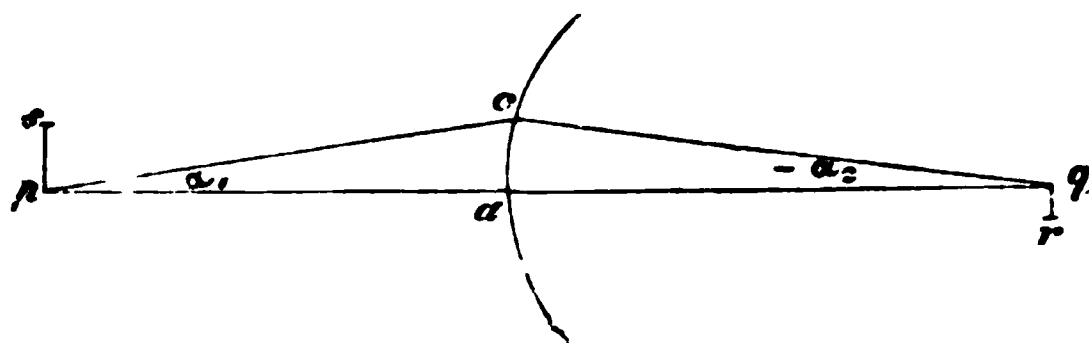
„ Diese Formeln 7c) sind bei weitem die einfachsten und übersichtlichsten, in denen die Gesetze der optischen Bilder ausgedrückt werden können. Wir werden im Folgenden sehen, daß sie gleichzeitig ganz allgemein für beliebig zusammengesetzte Systeme von centrirten, brechenden und spiegelnden Kugelflächen gelten. Man sieht daraus unmittelbar, daß Bilder collectiver Flächen umgekehrt sind, wenn das Object vor dem ersten Brennpunkt, das Bild also hinter dem zweiten liegt.

Dagegen ist das Bild collectiver Flächen aufrecht, wenn ihr Object hinter dem ersten Brennpunkt liegt, ihr Bild also vor dem zweiten.

Bei dispersiven Flächen verhält sich dies Alles umgekehrt.

#### Beziehung zwischen der GröÙe der Bilder und optischen Neigung der Strahlen.

50 Es sei in *Fig. 44*  $p q$  die Axe,  $s p$  ein Object und  $q r$  sein Bild. Wir wollen die Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  bestimmen, welche einer der von  $p$  ausgehenden Strahlen  $p c$



*Fig. 44.*

vor und nach der Brechung mit der Axe macht, und diese Winkel positiv rechnen, wenn der Strahl sich in Richtung der als positiv gerechneten Bilder von der Axe entfernt. Es ist also  $\angle cpa = \alpha_1$ ,  $\angle cqa = -\alpha_2$ . Es sei ferner, wie bisher,  $sp = \beta_1$ ,  $qr = -\beta_2$ ,  $ap = f_1$ ,

$aq = f_2$ . Da die Einfallswinkel der Strahlen an der brechenden Fläche immer sehr klein bleiben sollen, muß  $ca$  ein sehr kleiner Bogen sein, den wir annähernd als eine gegen die Axe senkrechte gerade Linie betrachten können. Wir können also setzen

$$ac = f_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1,$$

$$ac = -f_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2, \text{ also}$$

$$f_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = -f_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 \quad \dots \quad \text{A.}$$

Wir haben ferner nach 3d) und 6b):

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{F_2}{f_1 - F_1} = \frac{f_2 - F_2}{F_1}$$









$$\frac{c_2 b_2}{f g} = \frac{b_2 P_2}{P_2 f} \quad \text{oder}$$

$$-\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{f_2 - F_2};$$

und da nach Gleichung 8):

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1, \quad \dots \dots \dots 8a),$$

so erhält man entsprechend der für eine brechende Fläche geltenden Gleichung 6b) 54

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{F_2}{F_2 - f_2} = \frac{F_1 - f_1}{F_1} \quad \dots \dots \dots 8b).$$

Nennen wir die Entfernung der zusammengehörigen Bilder von den Brennpunkten  $l_1$  und  $l_2$ , so daß also

$$l_1 = f_1 - F_1,$$

$$l_2 = f_2 - F_2,$$

so erhalten wir aus der Gleichung 8a) in derselben Weise die einfachste Form für das Gesetz der Lage der Bilder eines zusammengesetzten Systems, wie wir für die einer einzelnen Fläche aus Gleichung 3d) die 7b) erhalten haben, nämlich

$$l_1 \cdot l_2 = F_1 \cdot F_2 \quad \dots \dots \dots 8c),$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\beta_1}{\beta_2} &= -\frac{l_1}{F_1} \\ \frac{\beta_2}{\beta_1} &= -\frac{l_2}{F_2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots 8d).$$

Verhältniß der beiden Brennweiten.

Um endlich das Verhältniß der Größen  $F_1$  und  $F_2$  zu finden, wenden wir das in der Gleichung 7d) ausgesprochene Gesetz auf den Strahl an, welcher vor der Brechung durch  $s$  und  $b_1$ , Fig. 46, nach der Brechung also durch  $b_2$  und  $g$  geht.

Nennen wir die GröÙe eines in der ersten Hauptebene enthalten Bildes  $\gamma_1$ , die Reihe der Bilder, welche bei den einzelnen Brechungen in dem Systeme gebildet werden,  $\gamma_2, \gamma_3$  etc. und  $\gamma_{m+1}$  das in der zweiten Hauptebene nach der letzten Brechung entworfenene. Nach der Definition der Hauptebene ist  $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$ . Nennen wir ferner  $\alpha_1$  den Winkel zwischen dem Strahl  $s b_1$  und der Axe im ersten Mittel,  $\alpha_2, \alpha_3$  u. s. w. in den folgenden Mitteln,  $\alpha_{m+1}$  im letzten Mittel, so daß

$$\angle s b_1 p = -\alpha_1,$$

$$\angle g b_2 f = -\alpha_{m+1}.$$

Nach der Gleichung 7d) ist

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = n_2 \cdot \gamma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2,$$

$$n_2 \cdot \gamma_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 = n_3 \cdot \gamma_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_3$$

u. s. w., woraus folgt

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{m+1} \quad \dots \dots \dots 9),$$

oder da  $\gamma_1 = \gamma_{m+1}$ , so ist

$$n_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = n_{m+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{m+1} \quad \dots \dots \dots 9a).$$

Ferner ist mit Berücksichtigung der oben aufgestellten Bezeichnungen

$$\begin{aligned} sp &= \beta_1 = -f_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2, \\ fg &= -\beta_2 = -f_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{m+1}, \quad \text{folglich} \\ \frac{n_1 \cdot \beta_1}{f_1} &= -\frac{n_{m+1} \cdot \beta_2}{f_2}; \end{aligned}$$

Setzt man in diese Gleichung aus 8a) den Werth von  $f_2$ , so erhält man

$$\frac{n_1 \cdot \beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{n_{m+1} \cdot \beta_2}{F_2}$$

55 und nach 8b) ist

$$\frac{\beta_1}{f_1 - F_1} = -\frac{\beta_2}{F_2}.$$

Beide Gleichungen durch einander dividirt geben:

$$\frac{n_1}{n_{m+1}} = \frac{F_1}{F_2}, \quad \dots \dots \dots 9c)$$

was zu beweisen war.

### III.

In jedem optischen Systeme giebt es ein und nur ein Paar von Knotenpunkten, welche die Eigenschaft haben, daß alle Lichtstrahlen, deren Richtung im ersten Mittel durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der letzten Brechung eine ihrer früheren parallele Richtung haben, und durch den zweiten Knotenpunkt gehen. Die durch die Knotenpunkte senkrecht gegen die optische Axe gelegten Ebenen heißen die Knotenebenen. Da die im ersten Knotenpunkte sich schneidenden Lichtstrahlen sich also nach der letzten Brechung im zweiten schneiden, so ist der zweite offenbar das Bild des ersten. Die zu ihnen gehörigen Brennweiten verhalten sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mediums.

Wir gehen von der in der vorigen Nummer gefundenen Gleichung 9) aus:

$$n_1 \cdot \gamma_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1} \cdot \operatorname{tg} \alpha_{m+1} \quad \dots \dots \dots 10)$$

Wenn wir diese auf die Knotenpunkte beziehen, soll  $\alpha_1 = \alpha_{m+1}$  werden. Dies wird der Fall sein, wenn

$$n_1 \cdot \gamma_1 = n_{m+1} \cdot \gamma_{m+1}.$$

Die Lincardimensionen zweier zusammengehöriger in den Knotenebenen liegender Bilder verhalten sich also umgekehrt wie die zugehörigen Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels.

Da die Bilder desselben Gegenstandes  $\gamma_1$  sich verhalten wie ihre Abstände vom zweiten Hauptbrennpunkte, so läßt sich dieser Abstand aus der Gröfse des Bildes bestimmen. Fällt das Bild des Gegenstandes  $\gamma_1$  in die zweite Hauptebeue, so ist seine Gröfse auch gleich  $\gamma_1$ , sein Abstand vom Brennpunkte  $F_2$ ; fällt es in die zweite Knotenebene, so ist seine Gröfse, wie eben bewiesen,

$$\gamma_{m+1} = \frac{n_1}{n_{m+1}} \cdot \gamma_1.$$



Sein Abstand vom Brennpunkte sei  $G_2$ , so ist

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_{m+1}} = \frac{F_2}{G_2}, \text{ also (9c)}$$

$$G_2 = \frac{n_1}{n_{m+1}} \cdot F_2 = F_1 \quad . . . . . 10a).$$

Der Abstand zwischen der zweiten Haupt- und Knotenebene ist danach

$$a_2 = F_2 - G_2$$

$$= F_2 - F_1.$$

Die erste Knotenebene soll das Bild der zweiten sein. Nennen wir ihren Abstand von der ersten Hauptebene  $a_1$ , so daß

$$a_1 = G_1 - F_1,$$

so ergibt die Gleichung 8a) 56

$$-\frac{F_1}{a_1} + \frac{F_2}{a_2} = 1, \text{ daher}$$

$$a_1 = a_2 = F_2 - F_1$$

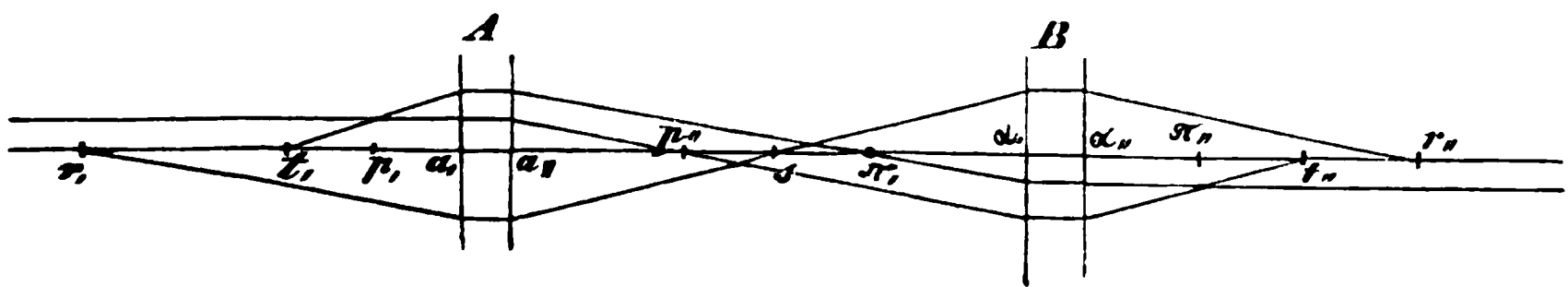
$$G_1 = F_2 \text{ und } . . . . . 10b)$$

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{n_{m+1}}{n_1} \quad . . . . . 10c)$$

**Methoden, die Brenn-, Haupt- und Knotenpunkte eines aus zwei anderen zusammengesetzten centrirten Systems brechender Kugelflächen zu finden.**

#### IV.

Es seien gegeben zwei centrirte optische Systeme  $A$  und  $B$ , welche dieselbe Axe haben. Es seien  $p$ , und  $p_{..}$ , *Fig. 47*, die beiden Brennpunkte,  $a$ , und  $a_{..}$ , die beiden Hauptpunkte des Systems  $A$ ,  $\pi$ , und  $\pi_{..}$ , die Brennpunkte,  $\alpha$ , und  $\alpha_{..}$ , die Hauptpunkte von  $B$ . Der Abstand des ersten Hauptpunktes  $\alpha$ , des zweiten



*Fig. 47.*

Systems vom zweiten  $a_{..}$  des ersten Systems sei  $d$ , und dies werde positiv gerechnet, wenn, wie in *Fig. 47*,  $\alpha$ , hinter  $a_{..}$  liegt. Die Hauptbrennweiten des ersten Systems  $a, p$ , und  $a_{..}, p_{..}$  bezeichnen wir mit  $f_1$  und  $f_2$ , die des zweiten  $\alpha, \pi$ , und  $\alpha_{..}, \pi_{..}$  mit  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$ .

Der erste Brennpunkt des combinirten Systems ist offenbar das Bild, welches das System  $A$  vom ersten Brennpunkte  $\pi$ , des Systems  $B$  entwirft, Ist  $t$ , dieser Punkt, so ist klar, wie auch durch den in der Figur von  $t_1$  ausgehenden Strahl angedeutet ist, daß Strahlen, welche von  $t$ , ausgehen, nach der Brechung im ersten Systeme  $A$  in  $\pi$ , sich vereinigen und nach der Brechung im zweiten

parallel der Axe werden müssen, so daß also  $t$ , der Definition des vorderen Brennpunkts entspricht. Die Entfernung  $a, \pi$ , ist gleich  $d - \varphi$ ; daraus ergibt sich für  $a, t$ , der Werth

$$a, t = \frac{(d - \varphi_1) \cdot f_1}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \dots \dots \dots 11a).$$

Ebenso ist der zweite Brennpunkt des combinirten Systems das Bild, welches das zweite System  $B$  von dem zweiten Brennpunkte  $p$ , des ersten Systems entwirft. Es sei  $t$ , der Ort dieses Bildes, so ist

$$a, t = \frac{(d - f_1) \cdot \varphi_2}{d - \varphi_1 - f_2} \quad \dots \dots \dots 11b).$$

Die beiden Hauptpunkte des combinirten Systems sollen jeder des anderen Bild sein, und zwar bezieht sich der erste auf den Gang der Lichtstrahlen im ersten Medium, der zweite auf den im letzten. Die beiden Hauptpunkte müssen daher ein beider gemeinsames Bild in dem mittleren Medium haben, was zwischen den beiden optischen Systemen vorhanden ist. Es sei dieses Bild  $s$  in *Fig. 47*,  $r$ , und  $r$ , dagegen die Hauptpunkte des combinirten Systems. Wenn  $s$  das Bild von  $r$ , und  $r$ , das Bild von  $s$  ist, so ist auch  $r$ , das letzte Bild von  $r$ , und der ersten Bedingung für die beiden Hauptpunkte geschieht dadurch Genüge. Die zweite Bedingung für diese Punkte ist die, daß zusammengehörige Bilder in den Hauptebenen gleich groß und gleich gerichtet seien. Es sei nun  $\sigma$  die Größe eines Objects in  $s$ ,  $\beta_1$  sein Bild entworfen vom System  $A$  in  $r$ ,  $\beta_2$  sein Bild entworfen vom System  $B$  in  $r$ , und  $x$  gleich der Länge  $a, s$ ,  $y$  gleich  $s \alpha_1$ , so ist nach 8b)

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{f_2}{f_2 - x}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 - y}$$

Soll  $\beta_1 = \beta_2$  sein, so muß sein

$$\frac{f_2}{f_2 - x} = \frac{\varphi_1}{\varphi_1 - y} \quad \text{oder}$$

$$\frac{x}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1} \quad \dots \dots \dots 11c).$$

$$\text{oder} \quad \frac{a, s}{a, p} = \frac{\alpha, s}{\alpha, \pi}.$$

Um also den Punkt im mittleren Medium zu finden, dessen Bilder die beiden Hauptpunkte sind, theile man die Entfernung zwischen dem zweiten Hauptpunkte des ersten und ersten Hauptpunkte des zweiten Systems in zwei Theile, welche sich verhalten wie die zu diesen Hauptpunkten gehörigen Hauptbrennweiten der beiden Systeme.

Da  $x + y = d$  ist nach 11c)

$$\frac{x}{f_2} = \frac{d - x}{\varphi_1}$$

$$\frac{d - y}{f_2} = \frac{y}{\varphi_1}. \quad \text{Daraus folgt}$$

$$x = \frac{d \cdot f_2}{g_1 + f_2}$$

$$y = \frac{d \cdot g_1}{g_1 + f_2}$$

Aus dem Werthe von  $x$  findet man die Entfernung  $a, r, = h_1$  des ersten Hauptpunktes des combinirten Systems vor dem ersten Hauptpunkte des Systems  $A$ ,

$$h_1 = \frac{x \cdot f_1}{x - f_2}$$

$$h_1 = \frac{d \cdot f_1}{d - g_1 - f_2} \quad \dots \dots \dots 11d).$$

Ebenso die Entfernung  $\alpha, r, = h_2$  des zweiten Hauptpunktes des combinirten Systems hinter dem zweiten Hauptpunkte des Systems  $B$ ,

$$h_2 = \frac{g_2 \cdot y}{y - g_1}$$

$$h_2 = \frac{d \cdot g_2}{d - g_1 - f_2} \quad \dots \dots \dots 11e).$$

Daraus ergeben sich die Werthe  $F_1$  und  $F_2$  der Hauptbrennweiten des combinirten Systems:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= a, t, - a, r, \\ &= \frac{g_1 \cdot f_1}{g_1 + f_2 - d} \\ F_2 &= \alpha, t, - \alpha, r, \\ &= \frac{g_2 \cdot f_2}{g_1 + f_2 - d} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots 11f).$$

Hat man die Haupt- und Brennpunkte gefunden, so findet man die Knotenpunkte sehr leicht, da der Abstand des ersten Knotenpunktes vom ersten Brennpunkte gleich ist der zweiten Hauptbrennweite, der Abstand des zweiten Knotenpunktes vom zweiten Brennpunkte der ersten Hauptbrennweite.

### V.

Will man nur die Knotenpunkte, nicht die Hauptpunkte suchen, so kann man ein ähnliches Verfahren einschlagen wie für die Hauptpunkte, wobei man die Bedingung benutzt, daß die linearen Dimensionen zusammengehöriger Bilder in den Knotenebenen sich umgekehrt wie die Brechungsverhältnisse der betreffenden Media verhalten.

Es seien in *Fig. 47* jetzt  $a,$  und  $a,,$   $\alpha,$  und  $\alpha,,$  nicht mehr die Hauptpunkte, sondern die Knotenpunkte der beiden Systeme  $A$  und  $B$ ,  $r,$  und  $r,,$  die Knotenpunkte des combinirten Systems, ihr gemeinsames Bild im mittleren Medium der Punkt  $s$ , so daß nun

$$\begin{aligned} a, p, &= f_2 & \alpha, \pi, &= g_2 \\ a,, p,, &= f_1 & \alpha,, \pi,, &= g_1 \\ a,, s &= x & \alpha, s &= y. \end{aligned}$$

Es ist

$$a, r, = \frac{x \cdot f_2}{x - f_1}$$

$$\alpha, r, = \frac{y \cdot g_1}{y - g_2}.$$

Ist nun  $\sigma$  die lineare GröÙe eines Objects im Punkte  $s$  des mittleren Medium,  $\beta_1$  die seines vom System  $A$  in  $r_1$  entworfenen Bildes,  $\beta_2$  die seines vom System  $B$  in  $r_2$  entworfenen Bildes, so ist nach den bekannten Eigenschaften der Knotenpunkte

$$\frac{\beta_1}{\sigma} = \frac{a, r,}{x} = \frac{f_2}{x - f_1}$$

$$\frac{\beta_2}{\sigma} = \frac{\alpha, r,}{y} = \frac{g_1}{y - g_2}.$$

Da nun in den Knotenebenen, wenn  $n_1$  das Brechungsverhältniß des ersten  $n_2$  des letzten,  $n$  des mittleren Mittels ist, sein muß

$$n_1 \cdot \beta_1 = n_2 \cdot \beta_2, \text{ so folgt, daß}$$

$$\frac{n_1 \cdot f_2}{x - f_1} = \frac{n_2 \cdot g_1}{y - g_2}.$$

59 Nun ist aber

$$n_1 \cdot f_2 = n \cdot f_1$$

$$n_2 \cdot g_1 = n \cdot g_2. \text{ also}$$

$$\frac{f_1}{x - f_1} = \frac{g_2}{y - g_2} \quad \text{und}$$

$$\frac{x}{f_1} = \frac{y}{g_2} \quad \text{oder}$$

$$\frac{a, s}{a, p,} = \frac{\alpha, s}{\alpha, \pi,}.$$

Die entsprechende Gleichung hatten wir aber auch gefunden in 11c), als wir angenommen hatten, daß die Punkte  $a, a, \alpha, \alpha, r$ , und  $r, r$ , Hauptpunkte seien. Zur Auffindung der Knotenpunkte des combinirten Systems verfährt man also ganz wie zur Auffindung seiner Hauptpunkte, nur daß man dabei von den Knotenpunkten der einzelnen Systeme, nicht von den Hauptpunkten ausgeht, und die zu den Knotenpunkten gehörigen Brennweiten nimmt.

## VI.

Wir wollen hier noch die Formeln für den einfachsten Fall hinschreiben, wo jedes der beiden verbundenen Systeme nur aus einer einzelnen Kugelfläche besteht. Es sei  $r_1$  der Radius der ersten,  $r_2$  der der zweiten Fläche,  $d$  ihr Abstand in der Axe von einander,  $n_1$  das Brechungsverhältniß des ersten,  $n_2$  des zweiten,  $n_3$  des dritten Mittels. Dann ist nach 3a) und 3b)

$$f_1 = \frac{n_1 \cdot r_1}{n_2 - n_1} \qquad g_1 = \frac{n_2 \cdot r_2}{n_3 - n_2}$$

$$f_2 = \frac{n_2 \cdot r_1}{n_2 - n_1} \qquad g_2 = \frac{n_3 \cdot r_2}{n_3 - n_2}$$

Setzen wir der Kürze wegen

$$n_3 \cdot (n_3 - n_2) \cdot r_1 + n_2 \cdot (n_2 - n_1) \cdot r_2 - (n_3 - n_2) \cdot (n_2 - n_1) \cdot d = N,$$

so sind die Hauptbrennweiten:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot r_1 \cdot r_2}{N} \\ F_2 &= \frac{n_2 \cdot n_3 \cdot r_1 \cdot r_2}{N} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 12),$$

die Entfernungen der Hauptpunkte  $h_1$  und  $h_2$  von den Flächen:

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 \cdot (n_2 - n_3) \cdot d \cdot r_1}{N} \\ h_2 &= \frac{n_3 \cdot (n_1 - n_2) \cdot d \cdot r_2}{N} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 12a),$$

und die Entfernung der Hauptpunkte von einander ist

$$H = d \cdot \frac{(n_2 - n_1) \cdot (n_3 - n_2) \cdot (r_1 - r_2 - d)}{N} \dots \dots \dots 12b).$$

Für  $d = 0$  wird  $h_1 = h_2 = H = 0$

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 \cdot r_1 \cdot r_2}{(n_3 - n_2) \cdot r_1 + (n_2 - n_1) \cdot r_2} \\ F_2 &= \frac{n_3 \cdot r_1 \cdot r_2}{(n_3 - n_2) \cdot r_1 + (n_2 - n_1) \cdot r_2} \end{aligned}$$

Setzen wir hierin  $r_2 = r_1$ , so erhalten wir

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{n_1 \cdot r_1}{n_3 - n_1} \\ F_2 &= \frac{n_3 \cdot r_1}{n_3 - n_1} \end{aligned}$$

Die Brennpunkte und Hauptpunkte sind dann also genau dieselben, als wäre nur eine brechende Fläche vorhanden; das Resultat ist unabhängig von  $n_2$ . Daraus folgt:

In einem Systeme von brechenden Kugelflächen können wir uns an jeder brechenden Fläche eine unendlich dünne, durch concentrische Kugelflächen begrenzte Schicht von beliebigem Brechungsverhältnisse eingeschoben denken, ohne die Brechung der Strahlen dadurch zu ändern.

Es wird uns dieser Satz später zur Vereinfachung mancher Betrachtungen dienen.

## VII.

Linsen. Endlich will ich noch die Formeln für Linsen mit zwei kugelförmigen Begrenzungsflächen hersetzen, bei denen das erste und letzte Mittel einander gleich sind, also  $n_1 = n_3$ . Dann ergibt Gleichung 12):

$$F_1 = F_2 = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot r_1 \cdot r_2}{(n_2 - n_1) \cdot [n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d]} \dots \dots \dots 13).$$

Die Abstände der Hauptpunkte, welche in diesem Falle mit den Knotenpunkten zusammenfallen, von den Linsenflächen sind nach 12a)

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= \frac{n_1 \cdot d \cdot r_1}{n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d} \\ h_2 &= - \frac{n_1 \cdot d \cdot r_2}{n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d} \end{aligned} \right\} \dots \dots 13a).$$

Die Entfernung der Hauptpunkte von einander:

$$H = d \cdot \frac{(n_2 - n_1) \cdot (d + r_2 - r_1)}{n_2 \cdot (r_2 - r_1) + (n_2 - n_1) \cdot d} \dots \dots 13b).$$

Die beiden ersten sind positiv gerechnet, wenn sie auſserhalb der Linſe liegen.

Den Punkt in der Linſe, deſſen Bilder die beiden Knotenpunkte ſind, nennt man in dieſem Falle das optiſche Centrum der Linſe. Es liegt in der optiſchen Axe, und ſeine Entfernungen von den beiden Flächen verhalten ſich zu einander wie die Radien dieſer Flächen.

#### Substitution verſchiedener optiſcher Systeme für einander.

Da die Reſultate der Brechung in einem optiſchen Systeme, was Größe und Lage der Bilder betrifft, nur von der Lage der Brennpunkte und Hauptpunkte (oder Knotenpunkte) abhängen, ſo kann man ohne Aenderung der Lage und Größe der Bilder zwei optiſche Systeme für einander ſubſtituiren, deren Brennpunkte und Hauptpunkte dieſelbe Lage haben. Da das Verhältniß des Brechungsvermögens des erſten und letzten Mittels nicht geändert werden kann, ohne das Verhältniß der Hauptbrennweiten zu einander zu ändern, wollen wir vorausſetzen, daß das erſte und letzte Mittel bei einer ſolchen Substitution ungeändert bleiben. Dann braucht nur die eine Hauptbrennweite und der Abſtand der Hauptpunkte von einander in dem einen System gleich den entſprechenden Größen des anderen gemacht zu werden, um die beiden Systeme für einander ſubſtituiren zu können. In einem Systeme von nur zwei brechenden Flächen würde man zur Erfüllung dieſer Bedingungen über 4 Größen,  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $n_2$  und  $d$ , beſtimmen können. Es kann daher für jedes centrirte System brechender Kugelflächen ein System von  
61 nur zwei ſolchen Flächen geſetzt werden, welches eben ſo große und eben ſo gelegene Bilder entwirft wie jenes, und im Allgemeinen kann man dabei ſogar noch immer zwei andere Bedingungen für das System von zwei Flächen aufſtellen, z. B. daß es aus einem beſtimmten Stoffe zu bilden ſei u. ſ. w., und dieſe gleichzeitig erfüllen.

Für den Fall, wo das erſte und letzte Mittel identiſch ſind, beide ein kleineres Brechungsvermögen haben als das mittlere Mittel, und der Abſtand der brechenden Flächen kleiner iſt als die Krümmungsradien, alſo für die ſogenannten Linſen, will ich hier noch die einzelnen Fälle durchgehen, weil dergleichen Linſen eine ausgedehnte praktiſche Anwendung finden.

#### Verſchiedene Arten der Linſen.

Man unterſcheidet nach der Geſtalt 1) biconvexe Linſen, bei denen beide Flächen convex, alſo  $r_1$  positiv,  $r_2$  negativ iſt; die Brennweite iſt immer positiv nach Gleichung 13). Die Abſtände der Hauptpunkte von den Flächen ſind negativ, d. h. dieſe Punkte liegen innerhalb der Linſe, und der Abſtand der Hauptpunkte



Wenn die Linse nach ihrem Laufe zu dicker wird, so liegt der Brennpunkt vor dem ersten Brennpunkt der Linse, und die Brennweite ist negativ. Wenn die Linse nach ihrem Laufe zu dünner wird, so liegt der Brennpunkt nach dem Ende der Linse, und die Brennweite ist positiv.

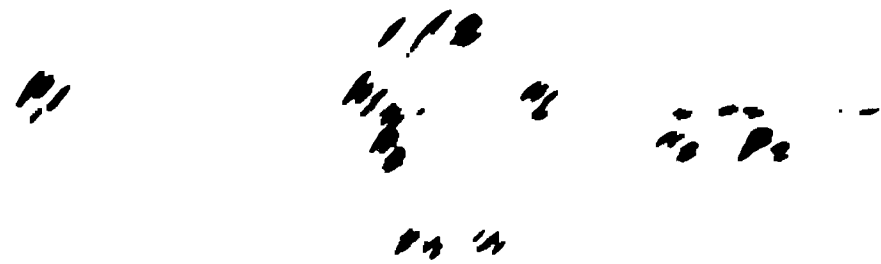
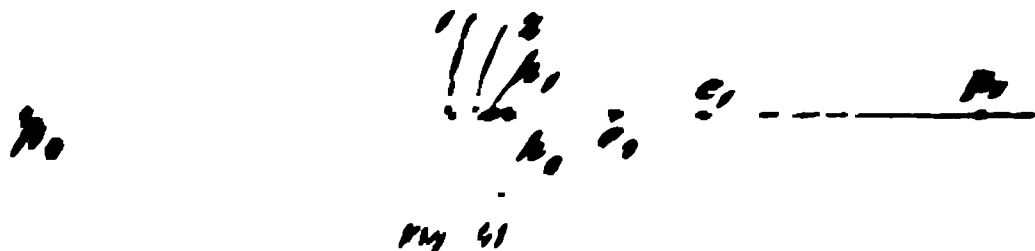
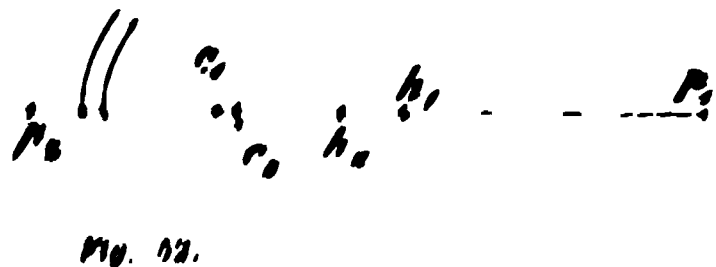


Fig. 50 zeigt eine Sammellinse von positiver Brennweite, die nach dem Rand zu dicker wird, Fig. 52 eine solche von negativer Brennweite, welche nach dem Rand zu dünner wird.



Ich bemerke noch, dass die Brennpunkte nie in die Linse und stets auf entgegengesetzten Seiten derselben fallen.



Was die Lage der Bilder betrifft, so vereinfacht sich die Gleichung 8a) in 8b), wenn die beiden Brennweiten gleich werden, in folgende:

in folgende:

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f'}, \text{ oder} \quad \dots \dots \dots 1$$

$$f_2 = \frac{f_1 f'}{f_1 - f'}, \quad \dots \dots \dots 14$$

und

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{f'}{f_1} = \frac{f' - f_2}{f'}, \quad \dots \dots \dots 14$$

oder, wenn wir wie oben

$$\frac{f_1 - f'}{f_2 - f'} = \frac{l_1}{l_2}$$

setzen, erhalten wir den Gleichungen 7c) entsprechend

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{f'}{f_2} \quad \dots \dots \dots 14$$

und

$$l_1 l_2 = f'^2 \quad \dots \dots \dots 14$$

Hiernach ist die Brennweite  $f'$  der Linse in allen Fällen die mittlere geometrische Proportionale zwischen den beiden Bildabständen von den Brennpunkten  $f_1$  und  $f_2$ . Hiervon muss man den letzteren einer notwendig größer als der andere kleiner sein, wenn nicht beide gleich  $+f'$  oder gleich  $-f'$  sind. Auch ergibt sich, dass  $f_1$  und  $f_2$  immer gleichzeitig positiv oder negativ sein müssen, d. h. wenn der Gegenstand vor dem ersten Brennpunkte liegt, liegt das Bild hinter dem zweiten und umgekehrt.

































Daraus geht hervor, dass sich die Brechungsverhältnisse der Kalbsaugen in den ersten 24 Stunden nach dem Tode nicht merklich verändern, und es lässt sich demnach dasselbe für die menschlichen annehmen.

Später sind verschiedene Bestimmungen der Brechungsverhältnisse der brechenden Theile des Auges mit dem dafür sehr geeigneten Refractometer von ABBE<sup>1</sup> ausgeführt worden. In diesem Instrumente sind zwei rechtwinkelige Prismen mit den Hypotenusenflächen aneinander gelegt, zwischen diese Flächen wird ein Tropfen der Substanz, die man untersuchen will, gebracht, und dann untersucht, unter welchem Winkel totale Reflexion eintritt. Diese tritt bekanntlich für Licht, das sich in einem stärker brechenden Medium bewegt ein, wenn das Brechungsgesetz

$$\sin \alpha_1 = \frac{n_2}{n_1} \cdot \sin \alpha_2$$

erfordern würde, dass  $\sin \alpha_1 > 1$  würde, was der Sinus eines reellen Winkels nicht kann. Die Grenze ist also gegeben, wo

$$\sin \alpha_2 = \frac{n_2}{n_1}$$

ABBE's Instrument erlaubt diesen Winkel genau zu messen, mit gleichzeitiger Compensation der Farbenzerstreuung und Messung der mittleren Dispersion. Man braucht für diese Messungen nur äußerst wenig der betreffenden Substanz.

Bestimmungen nach dieser Methode sind ausgeführt von den Herren SIGMUND FLEISCHER<sup>2</sup>, HIRSCHBERG<sup>3</sup>, AUBERT und MATTHIESSEN<sup>4</sup>. Herr HIRSCHBERG hat besonders frische Augen benutzen können; er fand

- für Kammerwasser: 1,337 (Max. 1,33799 — Min. 1,33705)
- für Glaskörper 1,336 (Max. 1,33798 — Min. 1,33541)

Die Herren AUBERT und MATTHIESSEN fanden gemeinsam bei den Augen eines Mannes von 50 Jahren und eines Kindes von 2 Tagen, während das Brechungsverhältniß des destillirten Wassers, mit demselben Instrument bestimmt, gleich 1,3310 gefunden wurde:

	Mann		Kind	
	I.	II.	I.	II.
Hornhaut. . . . .	—	1,377	1,3721	—
Kammerwasser . . . .	—	—	1,3338	—
Vordere Linsenkapsel	—	—	1,3831	1,3780
Hintere . . . . .	1,3374	1,3376	1,3503	1,3572
Äußere Linsenschicht	1,3953	1,3967	1,3967	—
Mittlere . . . . .	1,4087	1,4067		
Kern . . . . .	1,4119	1,4093		
Glaskörper . . . . .	—	1,3348	1,3340	

Experimentelle Bestimmung der Cardinalpunkte todter Krystallinsen.

Da aus der Gestalt und den Brechungsverhältnissen der einzelnen Schichten der Krystallinse deren Brennweite nicht unmittelbar zu berechnen ist, so will ich hier die Resultate von directen Messungen der optischen Constanten zweier menschlicher Linsen anführen, welche ich etwa 12 Stunden nach dem Tode untersuchen konnte.

An der Luft trocknet und faltet sich die Oberfläche einer aus dem Auge genommenen Linse sehr bald, in Wasser quillt sie auf und wird trübe. Ich habe deshalb die todten Linsen während ihrer Untersuchung mit Glasfeuchtigkeit umgeben. Außerdem sind die Linsen außerordentlich nachgiebig gegen jeden Zug und Druck; so lange sie aber von

<sup>1</sup> E. ABBE. *Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens*. Jena 1874.  
<sup>2</sup> S. FLEISCHER. *Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges*. Inaug. Diss. Jena 1874.  
<sup>3</sup> J. HIRSCHBERG, *Archiv für Augen- und Ohrenheilkunde*. Bd. IV. Wiesbaden 1874.  
<sup>4</sup> H. AUBERT, *Grundzüge der Physiologischen Optik*. Leipzig 1876.





die Brechung an den ebenen Flächen der oberen Glasplatte nicht weiter verändert. Wir haben also die Gleichungen:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} = \frac{n \cdot a_1 + \frac{n}{n_c} \cdot c + b + x}{f}$$

$$\frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = \frac{n \cdot a_2 + \frac{n}{n_c} \cdot c + b + x}{f}$$

Durch Subtraction erhält man:

$$\frac{\beta_1 - b_1}{\beta_1} - \frac{\beta_2 - b_2}{\beta_2} = \frac{n \cdot (a_1 - a_2)}{f},$$

woraus  $f$  zu finden ist:

$$f = \frac{n \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (a_1 - a_2)}{b_2 \cdot \beta_1 - b_1 \cdot \beta_2},$$

und dann erhält man aus einer der beiden früheren Gleichungen auch  $x$ . Man vergesse bei der Rechnung nicht, daß  $\beta_1$ , wenn  $a_1$  gröfser als die Brennweite ist, ein umgekehrtes Bild, also negativ ist. Die Gröfse  $x$  ist nicht unmittelbar gleich dem Abstände des Knotenpunktes von der vorderen Fläche der Linse zu setzen, sondern bedarf dazu noch einer kleinen Correction, weil die gekrümmte Fläche der Linse sich etwas unter die Ebene der Öffnung, auf deren Rändern sie ruht, herabwölbt. Wenn man den Durchmesser der Öffnung und den Krümmungsradius der Linse kennt, ist die Höhe des betreffenden Kugelabschnitts leicht zu berechnen.

Den Abstand des zweiten Knotenpunktes von der hinteren Fläche der Linse erhält man in derselben Weise, nachdem man die Linse umgekehrt hat.

Die kleine Gröfse  $\frac{c}{n_c}$  kann man durch Beobachtungen mit dem Ophthalmometer bestimmen, indem man die Glasplatte  $cc$ , ähnlich wie sie hier zwischen dem Spalt und 81 der Krystallinse angebracht ist, zwischen diesen und eine kleine Glaslinse von bekannter Brennweite und bekannter Lage der Knotenpunkte bringt. In ähnlicher Weise kann auch die Gröfse  $b$  ermittelt werden. Dieselben Gleichungen, welche wir für die Ermittlung von  $x$  und  $f$  aufgestellt haben, können bei bekanntem  $x$  und  $f$  auch dienen,  $b$  oder  $\frac{c}{n_c}$  zu ermitteln.

Die Krümmungshalbmesser für die Scheitel der Linse können entweder, wie oben angegeben ist, durch Spiegelung ermittelt werden, oder auch durch Brechung. Zu dem Ende läfst man die Linse in ihrem Messinggehäuse liegen, und entfernt nur den Theil der Glasfeuchtigkeit, welcher ihre obere Fläche bedeckt, und stellt nun entweder den Ausschnitt zwischen den GRAVESAND'schen Schneiden vor dem Prisma  $f$ , etwas seitlich von der Gesichtslinie des Ophthalmometers auf, und mißt die Gröfse seines Spiegelbildes, oder man läfst den Messingschirm mit den Schneiden auf dem Objecttische des Mikroskops liegen, und mißt das dioptrische Bild, welches jetzt entworfen wird. Wie die Messung des Spiegelbildchens zur Rechnung zu benutzen ist, ist schon oben angegeben. Für die dioptrische Messung mögen  $b_1$ ,  $\beta_1$  und  $f$  die bisherige Bedeutung behalten,  $\beta_2$  die Gröfse des Bildes bezeichnen, nachdem man die Glasfeuchtigkeit von der oberen Fläche der Linse entfernt hat, und  $y$  der Abstand des oberen Knotenpunktes von der oberen Fläche sein. (Dieser Abstand bezieht sich immer auf den Fall, wo die Linse in Glasfeuchtigkeit liegt.) Endlich sei  $R$  der Krümmungsradius im Scheitel der oberen Fläche. Dann kann  $R$  aus der Gleichung gefunden werden:

$$R \cdot \frac{n \cdot (\beta_1 - \beta_2)}{(n - 1) \cdot \beta_2} = f \cdot \frac{b_1 - \beta_1}{b_1} - y.$$







In LISTING's schematischem Auge ist für die in wässriger Feuchtigkeit liegende Linse:

$d = 0,203 \text{ mm}$   
 $a = 1,424 \text{ „}$   
 $p = 44,301 \text{ „}$   
 $x = 0,157 \text{ „}$

Die Messungen an todten Linsen (S. 102) ergaben:

$a = 1,546 \quad 1,499$   
 $p = 45,14 \quad 47,43,$

was mit LISTING's Annahmen hinreichend übereinstimmt;  $d$  konnte ich leider nicht genau genug bestimmen, weil sich in dieser sehr kleinen Grösse die Fehler in der Bestimmung der Dicke der Linse und der Abstände der beiden Knotenpunkte von den betreffenden Linsenflächen addirten.

Wende ich den gefundenen Werth der Correction  $x$  auf die von mir durchgemessenen Augen an, (wie dies auszuführen, wird in § 12 beschrieben werden), so ergibt sich:

		O. H.	B. P.	J. H.
Abstand vom Scheitel der Hornhaut	der hinteren Linsenfläche	7,172	7,232	7,141
	der Pupille	4,024	3,597	3,739
Dicke der Linse in mm:		3,148	3,635	3,402

Diese Werthe der Linsendicke sind kleiner, als man sie an todten Linsen gefunden hat.

KRAUSE giebt an, an solchen  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{3}{4}$  par. Lin. (4,05 bis 5,4 mm) gefunden zu haben; ich selbst fand 4,2 und 4,3 mm. Nun wölbt sich die vordere Linsenfläche in der Pupille ein wenig, und ihre Mitte tritt deshalb etwas vor die Ebene des Kreises hervor, in der die Pupille ihr anliegt, und diese Wölbung könnte der Dicke der Linse noch zugerechnet werden. Die Höhe der Wölbung beträgt nach den in den Messungen an lebenden Augen von mir gefundenen Werthen des Durchmessers der Pupille und des Krümmungshalbmessers der vorderen Linsenfläche:

O. H.                  B. P.                  J. H.  
0,266                  0,166                  0,153

dann würde die Dicke der Linse:

3,414                  3,801                  3,555.

Aber auch diese Werthe reichen noch nicht an die der todten Linsen, und doch ist es auch fraglich, ob man die ganze Höhe der Wölbung hinzurechnen darf, da dem Rande der Pupille, da wo er der Linse anliegt, auch noch eine Dicke von einigen Hundertel Millimeter gegeben werden muss, um welche der von vorn sichtbare Rand von der Linsenfläche entfernt bleiben wird. Andererseits erscheint es unwahrscheinlich, dass bei diesen Messungen ein Fehler von einem halben Millimeter begangen sein sollte.

Auch neuere Messungen bestätigen dies Ergebniss. Herr A. v. REUSS<sup>1</sup> findet bei Emmetropen zwischen 3,5 bis 4,19 Linsendicke, bei Kurzsichtigen sogar nur 2,97 bis 3,68. Um die Reflexe zu verstärken hat er DRUMMOND'sches Licht, Herr ROSOW<sup>2</sup> vor ihm Sonnenlicht angewendet.

<sup>1</sup> A. v. REUSS, *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XXIII. (4). S. 241—243.  
<sup>2</sup> B. ROSOW. *Gräfe's Archiv für Ophthalm.* XI. (2). S. 129.









angegebenen Stellung erblicken kann. Ist das beobachtete Auge richtig centriert, so muß es offenbar möglich sein, eine Stellung des Fixationspunktes zu finden, welche die angegebene Forderung erfüllt.

Ich habe noch kein menschliches Auge gefunden, welches dem entsprochen hätte. Wenn von der einen Seite gesehen die drei Reflexe die richtige Stellung hatten, war dies nicht mehr der Fall von der anderen Seite her; man mußte dann das Fixationszeichen mehr oder weniger verschieben, um die richtige Stellung wieder hervorzubringen.

Bei den drei Augen, für welche ich das System von Messungen angestellt habe, mußte der Fixationspunkt sich immer etwas oberhalb der Ebene *abd* befinden. Die Gesichtslinie lag immer auf der Nasenseite der Linie *cd*. Ihre horizontale Projection bildete mit der Linie *cd* unter den angegebenen Umständen folgende Winkel:

Beobachter.	Auge.	Licht kommt	
		von der Schläfenseite	von der Nasenseite
HELMHOLTZ	O. H.	3 ° 47'	4 ° 57'
	B. P.	5 ° 6'	8 ° 12'
	J. H.	5 ° 43'	7 ° 44'
KNAPP <sup>1</sup>	J. S.	4 ° 50'	6 ° 48'
	H. S.	3 ° 40'	6 ° 22'
	F. S.	4 ° 36'	7 ° 56'
	H. Sch.	6 ° 4'	5 ° 39'

Daraus folgt, daß das menschliche Auge nicht genau centriert ist. Da jedoch die Unterschiede der zusammengehörigen Winkel verhältnißmäßig klein sind, so erfüllt die Linie *cd* für die in den Versuchen gefundenen Stellungen der beobachteten Augen wenigstens annähernd die Ansprüche, welche man an eine Augenaxe zu machen hat, und man mag als Winkel zwischen der horizontalen Projection der Gesichtslinie und der Linie, welche einer Augenaxe am besten entspricht, das arithmetische Mittel aus den angeführten Winkeln nehmen. Diese Linie fällt nach meinen Untersuchungen auch nahe genug mit der Hornhautaxe zusammen, und geht durch den Mittelpunkt des Hornhautumfangs. 87

Derjenige, welcher zuerst eine klare Vorstellung von der Brechung der Strahlen im Auge und von der Entstehung und Lage des Netzhautbildchens gehabt hat, ist KEPLER. Vor ihm hatte allerdings schon MAUROLYCUS die Krystalllinse des Auges mit einer Glaslinse verglichen, und behauptet, daß sie die Strahlen nach der Axe hin breche, aber er läugnete, daß auf der Netzhaut ein umgekehrtes Bild entworfen werde, weil wir ja sonst Alles verkehrt sehen müßten. Auch PORTA, der Erfinder der *Camera obscura*, verglich das Auge mit einer solchen, meinte aber, daß die Bilder auf der Krystalllinse entworfen würden. Erst KEPLER, der überhaupt die Grundsätze der Theorie der optischen Instrumente aufgefunden hat, läßt auf der Netzhaut ein umgekehrtes optisches Bild entstehen, und stellt als Bedingung des deutlichen Sehens hin, daß die Strahlen eines leuchtenden Punktes auf einen Punkt der Netzhaut vereinigt werden. KEPLER's Theorie wurde noch

<sup>1</sup> H. KNAPP, *Gräfe's Archiv f. Ophthalm.* VI. (2) S. 8.







































































Nimmt man an, daß bei der Accommodation für die Ferne dieses schematische Auge in unendliche Ferne blicken könne, so würde die Netzhaut nach der neuen Berechnung in der Axe des Auges 22,819 mm von der vorderen Hornhautfläche entfernt sein, und bei dem anderen berechneten Accommodationszustande ein Gegenstand deutlich gesehen werden, welcher 140,33 mm vor dem vorderen Brennpunkte, oder 152,46 mm vor der Hornhaut liegt. Es würde dies der Accommodationsbreite eines normalen Auges gut entsprechen.

Veränderungen der Hornhautkrümmung wollten einige ältere Beobachter<sup>1</sup> bei ungenaueren Untersuchungsmethoden gefunden haben. Neuere genauere Messungen dieser Krümmung mit Hilfe der reflectirten Bilder haben ergeben, daß sie ganz unverändert bleibt. Solche sind von SENFF<sup>2</sup>, CRAMER<sup>3</sup> und mir selbst angestellt worden. Das Ophthalmometer läßt eine sehr genaue Ausführung dieser Versuche zu, wobei Änderungen des Radius um  $\frac{1}{200}$  seiner Größe wahrzunehmen sein würden, während ein Wechsel der Sehweite zwischen 5 Zoll und unendlicher Entfernung einen Wechsel des Krümmungshalbmessers von 6,8 auf 8 mm erfordern würde, wenn eine solche Veränderung die Accommodation bewirken sollte. Ich habe aber durchaus negative Resultate erhalten. Zu erwähnen ist hier noch ein sehr sinnreicher Versuch von TH. YOUNG, welcher dasselbe beweist. Er beschreibt ihn folgendermaßen: „Ich nehme aus einem kleinen botanischen Mikroskope eine biconvexe Linse von  $\frac{8}{10}$  Zoll Radius und Brennweite, befestigt in einer beckenförmigen Fassung von  $\frac{1}{5}$  Zoll Tiefe, und mache ihre Kante mit Wachs wasserdicht. Ich tröpfe ein wenig mälsig kaltes Wasser hinein, bis es zu drei Vierteln damit angefüllt ist, und bringe es dann an das Auge, so daß die Hornhaut in das Becken hineinragt und überall mit dem Wasser in Berührung ist. Mein Auge wird dadurch sogleich weitsichtig, und das Brechungsvermögen der Glaslinse, welches durch das Wasser auf etwa 1,6 Zoll Brennweite zurückgeführt ist, ist nicht hinreichend, die Stelle der Hornhaut zu vertreten, welche durch das Wasser unwirksam geworden ist; aber die Hinzufügung einer anderen Linse von  $5\frac{1}{2}$  Zoll Brennweite bringt mein Auge zu seinem natürlichen Zustande zurück, und noch etwas darüber hinaus. Ich wende dann das Optometer an, und finde dieselbe Ungleichheit in der horizontalen und verticalen Brechung wie ohne Wasser, und ich habe in beiden Richtungen eine Accommodationsfähigkeit bis zu einer Sehweite von 4 Zollen wie vorher. Im ersten Augenblicke erschien mir die Accommodation allerdings etwas geringer und nur im Stande, das Auge von dem für parallele Strahlen geeigneten Zustande zu einer Sehweite von 5 Zoll zu bringen, und dies liefs mich glauben, daß die Hornhaut eine kleine Wirkung im natürlichen Zustande haben könnte; indem ich aber überlegte, daß die künstliche Hornhaut ungefähr  $\frac{1}{10}$  Zoll vor der Stelle der natürlichen sich befand, berechnete ich die Folgen dieses Unterschiedes und fand ihn genau ausreichend, um die Verringerung des Spielraums der Sehweite erklären.“

Um wie viel sich beim Nahesehen der Pupillarrand der Iris nach vorn verschiebt, läßt sich wenigstens annähernd bestimmen, nachdem man die Dimensionen und Krümmung der Hornhaut und die Entfernung der Pupillenfläche von

<sup>1</sup> J. P. LOBÉ, *Dis. de oculo humano*. Lugd. Batav. 1742. p. 119. — HOME, *Philos. Transact.* 1796. p. 1.

<sup>2</sup> Artikel „Sehen“ in E. WAGNER, *Handwörterbuch der Physiologie*.

<sup>3</sup> A. CRAMER, *Het Accommodatievermogen der Oogen*. Harlem 1853. p. 45











der wirklich stattfindenden Accommodationsbreite übereinstimmte, so daß die Annahme einer Verlängerung des Auges hierdurch ausgeschlossen war.

Ähnliche Bestimmungen sind ferner gemacht worden von ADAMÜCK und WOJNOW<sup>2</sup> u. von MANDELSTAMM und SCHÖLER<sup>3</sup>, von REICH<sup>4</sup> und endlich von WOJNOW<sup>5</sup>.

Ich gebe hier die von diesen Beobachtern gemessenen Werthe sowohl beim Sehen für die Ferne, wie bei der Accommodation für die Nähe, und füge, des Vergleichs halber, die schon oben angegebenen Resultate meiner eigenen Bestimmungen hinzu.

Für den Mechanismus der Accommodation ist es wichtig, den Ursprung der 115 Lin genau zu kennen. Ich habe den *Canalis Schlemmii* mit Umgebung, wie er sich auf seinen Querschnitten der Augenhöhle darstellt, in Fig. 2 (S. 7) abgebildet. *A* ist der Querschnitt des Kanals, der wohl auch im lebenden fernsehenden Auge eine längliche Spalte bildet, *C* die Cornea, *S* die Sclerotica, *D* die Bindehaut, *B* die Aderhaut, *E* ein Chorioretz, *I* die Iris. Die innere Wand des Kanals ist aus verschiedenen Geweben zusammengesetzt. Der hinterste Theil dieser Wand bei *a* besteht ganz deutlich aus demselben Gewebe eng durchflochtener Sehnenfasern wie die Sclerotica, von der er ausgeht. Der vordere Theil besteht dagegen aus einem anderen Gewebe, welches andurchsichtiger ist als das Sehnen Gewebe, stärker sich abzeichnende, gegen Emigkäre und Kali sehr

<sup>2</sup> E. ADAMÜCK u. M. WOJNOW, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. XVI. (1) S. 144. 1870.

<sup>3</sup> L. MANDELSTAMM u. H. SCHÖLER, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XVIII. (1) S. 155. 1872.

<sup>4</sup> M. REICH, *Gräfe's Archiv für Ophthalmol.* XX. (1) S. 207. 1874.

<sup>5</sup> M. WOJNOW, *Ophthalmometrie*. Wien. 1871. S. 119.





Gegen die Ansicht, daß die Augenmuskeln durch ihren Druck auf den Augapfel dessen Gestalt veränderten, ihn namentlich in Richtung der Augenaxe verlängerten, und dadurch die Netzhaut weiter von der Linse entfernten, eine Ansicht, die vor der Entdeckung der Formänderung der Linse viel gewichtige Freunde hatte, ist anzuführen, erstens, daß, wie ich durch Messungen mit dem Ophthalmometer gefunden habe, jede Steigerung des hydrostatischen Drucks im Auge die Hornhaut flacher macht, was man an lebenden Augen würde beobachten können, wenn es der Fall wäre, und zweitens, daß bei einem geringen Drucke mit dem Finger auf den Augapfel durch den Augenspiegel beobachtet werden kann, wie die Gefäße der Netzhaut enger werden, nur noch intermittierende Blutströme bei den Pulsellen hindurchlassen, endlich ganz collabiren. Sobald die intermittierende Bewegung (sichtbare Pulsation der Schlagadern) beginnt<sup>1</sup>, verschwindet die Empfindlichkeit der Netzhaut, wahrscheinlich wegen ungenügender Blutzufuhr, und das Gesichtsfeld wird vollkommen schwarz.

Endlich sind noch die Versuche von TH. YOUNG anzuführen, welche wohl kaum einen Zweifel darüber bestehen lassen können, daß auch nicht die geringste Verlängerung der Augenaxe beim Nahesehen eintritt. Man kann die Fläche der Bindehaut des Auges zwischen den Augenlidern mit einem glatten, gut polirten Stücke Metall ohne erhebliche Beschwerde berühren. Man setze in den inneren Augenwinkel auf die Bindehaut einen glatten eisernen Ring (eines Schlüssels) auf, den man fest gegen den inneren Rand der Augenhöhle anstemmt, und wende das Auge nach der inneren Seite herüber, so daß man durch den Ring und an dem Nasenrücken vorbei in die Ferne sieht. Dabei kommt der innere Umfang der Hornhaut ganz dicht an den Schlüssel zu liegen, und es wird somit verhindert, daß der Augapfel bei der Accommodation sich nach vorn verschieben könne. Nun dränge man den Ring eines ganz kleinen Schlüssels am äußeren Augenwinkel zwischen den Augapfel und Knochen ein. Dabei wird durch den Druck auf den Augapfel die Netzhaut gereizt, und es erscheint im Gesichtsfelde scheinbar vor dem Nasenrücken ein dunkler, anfangs auch wohl heller Fleck, ein Druckbild. Dieses reichte bei YOUNG bis auf die Stelle des deutlichsten Sehens, und er konnte erkennen, daß gerade Linien im Bereiche dieses Druckbildes eine leichte Krümmung erhielten, welche von einer durch den Druck veranlaßten leichten Einbiegung der Sclerotica herzurühren schien. Da das Druckbild an der Stelle des deutlichsten Sehens entstand, mußte der kleine Schlüssel die Gegend des gelben Flecks an der Hinterseite des Augapfels treffen. Unter diesen Umständen kann eine Verlängerung der Augenaxe offenbar nicht eintreten, ohne die Schlüssel von ihrer Stelle zu drängen. Wäre also die Accommodation mit einer Verlängerung der Augenaxe verbunden, so müßte sie unter diesen Umständen entweder ganz unmöglich sein, oder es müßten die Schlüssel verdrängt werden, und es müßte dabei das Druckbild wegen stärkerer Einbiegung der Hinterwand des Augapfels an Umfang außerordentlich zunehmen. Nichts von allem diesem ist der Fall. Das Auge kann vollständig so gut wie sonst accommodirt werden, und das Druckbild bleibt bei veränderter Accommodation ganz dasselbe.

TH. YOUNG scheint etwas hervorstehende Augen gehabt zu haben, wie auch aus anderen Versuchen, welche er beschreibt, hervorgeht. In meinem eigenen Auge reicht nur der eine Rand des Druckbildes bis zur Stelle des deutlichsten Sehens; übrigens konnte auch ich mich vollständig von der Möglichkeit der Accommodation und der Unveränderlichkeit des Druckbildes überzeugen.

Aus diesem Versuche folgt zunächst unmittelbar, daß die Entfernung des inneren Umfangs der Hornhaut von dem gelben Flecke oder einem Punkte der Hinterwand etwas nach außen vom gelben Flecke vollständig unveränderlich sei. Es würde aber die Entfernung der Hornhaut von dem gelben Flecke ohne auffallende Asymmetrie des Auges sich nicht verändern können, wenn nicht die genannte Entfernung ihres Randes sich ebenfalls änderte.

<sup>1</sup> F. C. DONDERS, *Nederl. Lancet*. 1854. Nov. S. 275.











Spiegelbild von zwei leuchtenden Punkten mit bloßem Auge beobachtet, wie ich es oben beschrieben habe. Die Verschiebung des Reflexes der vorderen Linsenfläche dagegen, welche durch CRAMER's Ophthalmoskop leicht und sicher zu beobachten ist, ist wegen der von CRAMER noch nicht gekannten Asymmetrie des Auges für sich allein nicht beweisend, wenn man sich nicht, was leicht auszuführen ist, durch eine Reihe von Versuchen überzeugt, daß von jeder Stelle der Pupille aus das genannte Bild sich stets der Mitte der Pupille nähert.

Ohne von den beiden genannten Forschern zu wissen, und zu einer Zeit, wo CRAMER's Entdeckung erst durch kurze Notizen<sup>1</sup>, die er selbst und DOYDERS gegeben hatte, veröffentlicht war, ehe noch seine von der Holländischen Gesellschaft der Wissenschaften gekrönte Abhandlung erschienen war, fand ich selbst dieselbe Thatsache<sup>2</sup>, und ermittelte weiter dasjenige, was ich oben über das Verhalten der hinteren Fläche der Linse bei der Accommodation angeführt habe<sup>3</sup>.

Gegen die Abhängigkeit des Accommodationsvermögens von Verschiebungen und Formänderungen der Linse wurden vielfach Fälle geltend gemacht, in denen das Auge sich noch sollte accommodiren können, nachdem die Linse durch die Staaroperation entfernt war. Indessen ist dabei zu bedenken, daß eine Regeneration der Linse möglich ist, und daß die Kranken auch bei unpassender Accommodation aus Zerstreuungsbildern mancherlei erkennen können. Daß Jemand, der mit der Staarbrille Druckschrift liest, mit derselben Brille auch ferne Menschen, Fensterkreuze und dergleichen erkennen kann, berechtigt noch nicht, ihm Accommodationsvermögen zuzuschreiben. Ein Jeder kann sich leicht überzeugen, daß, wenn er einen Finger in etwa 4 Fuß Entfernung fixirt, er dabei doch eine Menge Einzelheiten an weit entfernten Gegenständen wahrnehmen kann. Zum Beweis des Vorhandenseins von Accommodation gehört, daß der Kranke mit derselben Brille einen Gegenstand in bestimmter Entfernung willkürlich deutlich und undeutlich sehen kann, je nachdem er sein Auge für dieselbe oder eine andere Entfernung einzurichten strebt. SZOKALSKY will einen solchen Fall wirklich beobachtet haben; aber das betreffende Auge konnte ohne Staarbrille in 17 Zoll Entfernung deutlich sehen, was ohne Ersatz der Linse nicht möglich ist. Um bei operirten Augen während des Lebens zu erkennen, ob die Linse hergestellt sei, schlägt DONDERS vor die entoptischen Erscheinungen zu benutzen.

6) Ansichten, welche eine Formveränderung des Augapfels annehmen. Wenn die Netzhaut sich von den brechenden Flächen entfernen, der Augapfel sich also verlängern könnte, würde das Auge sich dadurch für die Nähe accommodiren. Die Anhänger dieser Ansicht nahmen meistentheils an, daß die Augenmuskeln, entweder die rechten allein, oder die schiefen allein, oder alle zusammen, oder auch der Schließmuskel der Augenlider, durch Druck auf den Augapfel dessen Gestalt verändern könnten. Hierzu gehören STURM<sup>4</sup>, LE MOINE<sup>5</sup>, BUFFON<sup>6</sup>, BOERHAVE<sup>7</sup>, MOLINETTI<sup>8</sup>, OLBERS<sup>9</sup>, HAESLER<sup>10</sup>, WALTHER<sup>11</sup>, MONRO<sup>12</sup>, HIMLY<sup>13</sup>, MECKEL<sup>14</sup>, PARROT<sup>15</sup>, POPPE<sup>16</sup>, SCHROEDER VAN

<sup>1</sup> A. CRAMER, *Tydschrift der Maatschappij voor Geneeskunde*. 1851. W. 11. bl. 115. und *Nederlandsch Lancet*. 2. Serie. W. 1. bl. 529. 1851—52.

<sup>2</sup> H. HELMHOLTZ, *Monatsberichte der Berliner Akad.* 1853. Februar. S. 137.

<sup>3</sup> H. HELMHOLTZ, *Graefe's Archiv für Ophthalmologie*. Bd. 1. (2) S. 1—74.

<sup>4</sup> J. CHR. STURM, *Dissert. de presbyopia et myopia*. Altdorfi 1697.

<sup>5</sup> LE MAINE, *Quaestio an obliqui musculi retinam a crystallino remoueant*. Parisiis 1743.

<sup>6</sup> G. L. L. BUFFON, *Histoire naturelle*. Paris 1739. T. III. p. 331.

<sup>7</sup> H. BOERHAVE, *Praelectiones academ.* Taurini 1755. Vol. III. p. 121.

<sup>8</sup> A. v. HALLER, *Elementa Physiologiae*, 1763. T. V. p. 511.

<sup>9</sup> H. W. M. OLBERS, *Dissert. de oculi mutab. int.* Gottingae 1780. § 43.

<sup>10</sup> J. F. HAESLER, *Betrachtungen über das menschliche Auge*.

<sup>11</sup> WALTHER, *Dissert. de lente crystallina*. § 1.

<sup>12</sup> MONRO, *Attenburger Annalen f. d. J.* 1801. S. 97.

<sup>13</sup> HIMLY, *Ophthalmologische Beobachtungen und Untersuchungen*. Bremen 1801.

<sup>14</sup> G. CUVIER, *Vorlesungen über vergl. Anat.* Übers. von MECKEL. Leipzig 1809. Bd. II. S. 369.

<sup>15</sup> G. F. PARROT, *Entretiens sur la physique*. Dorpat 1820. T. III. p. 434.

<sup>16</sup> J. H. M. POPPE, *Die ganze Lehre vom Sehen*. Tübingen 1823. S. 153.

















vom Objectivglase entworfenen Bildes muß man aber anwenden, weil sonst die Farbensäume meist zu schmal sind, um deutlich gesehen zu werden. Auch hier sieht man, wenn das Fernrohr für einen entfernteren Gesichtspunkt eingerichtet ist, weiße Flächen roth und gelb gesäumt; ist es dagegen für einen näheren eingestellt, blau gesäumt. Bei der Einstellung, welche die schärfsten Bilder giebt, erscheinen sehr schmale purpurne Ränder. Verdeckt man eine Hälfte des Objectivs, so erscheinen an gegenüberliegenden Rändern 131 der weißen Flächen blaue und gelbe Ränder u. s. w., ganz wie unter analogen Verhältnissen im Auge.

Um die Gröfse der durch Dispersion im Auge erzeugten Zerstreuungskreise zu berechnen, können wir LISTING's reducirtes Auge und darin Wasser als brechende Flüssigkeit zu Grunde legen, da nach FRAUNHOFER's Messungen die farbenzerstreuende Kraft eines solchen Auges von der des menschlichen wenig abweichen würde. Es verhält sich (*Fig. 77*)

$$\begin{aligned} \frac{\gamma\gamma}{b_1 b_2} &= \frac{\delta r}{fr} = \frac{\delta v}{fv}, \text{ also ist} \\ \gamma\gamma \cdot fr &= b_1 b_2 \cdot \delta r \\ \gamma\gamma \cdot fv &= b_1 b_2 \cdot \delta v. \text{ Beides addirt giebt} \\ \hline \gamma\gamma \cdot [fr + fv] &= b_1 b_2 \cdot [\delta r + \delta v] \\ &= b_1 b_2 \cdot [fr - fv] \\ \gamma\gamma &= b_1 b_2 \cdot \frac{fr - fv}{fr + fv}. \end{aligned}$$

Setzen wir  $b_1 b_2$ , entsprechend dem mittleren Durchmesser der Pupille normaler Augen, gleich 4 mm, und weiter, wie oben gefunden ist,

$$\begin{aligned} fr &= 20,574 \text{ mm,} \\ fv &= 20,140 \text{ mm,} \\ \text{so wird } \gamma\gamma &= 0,0426 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Nach der in § 11 gegebenen Tafel für die Gröfse der Zerstreuungskreise von Objecten, für welche das Auge nicht accommodirt ist, würde daher der Durchmesser  $\gamma\gamma$  der durch die Dispersion bedingten Zerstreuungskreise ebenso groß sein, wie der, den ein leuchtender Punkt 1,5 m ( $4\frac{3}{4}$  Fuß) Entfernung in einem für unendliche Entfernung accommodirten Auge giebt. Eine solche Abweichung der Accommodation giebt bei der Betrachtung feinerer Gegenstände schon eine recht merkliche Ungenauigkeit des Bildes, wie man bei Anstellung eines entsprechenden Versuches leicht erkennt. Um zu erklären, warum die Dispersion des weißen Lichts im Auge trotz der gleichen Gröfse der Zerstreuungskreise keine merkliche Ungenauigkeit des Bildes hervorbringt, muß man nicht bloß die Gröfse der Zerstreuungskreise, sondern auch die Vertheilung des Lichts in denselben berücksichtigen,

Wenn ein Lichtkegel von einem einfarbig leuchtenden Punkte in das Auge fällt, und die Netzhaut sich vor oder hinter dem Vereinigungspunkte der Strahlen befindet, so wird ein Zerstreuungskreis gebildet, der in allen seinen Theilen gleiche Helligkeit hat.

Wenn dagegen das Auge von einem Kegel weißen Lichts getroffen wird, und sich die Netzhaut im Vereinigungspunkte der grüngelben Strahlen, welche die lichtstärksten sind,





wenn  $f > F$ , also  $n < N$ , oder durch

$$\frac{e}{b} = \frac{F-f}{f},$$

wenn  $f < F$ , also  $n > N$ . Setzen wir hierin aus 1a) und 1b) die Werthe von  $F$  und  $f$ , so erhalten wir

$$\frac{e}{b} = \frac{N-n}{n \cdot (N-1)} \dots \dots \dots 2a),$$

wenn  $n < N$ , und

$$\frac{e}{b} = \frac{n-N}{n \cdot (N-1)} \dots \dots \dots 2b),$$

wenn  $n > N$ .

Die Helligkeit  $H$  nun, mit welcher die Farbe von dem Brechungsverhältniss  $n$  133 die Netzhaut beleuchtet, ist

$$H = A \cdot \frac{b^2}{e^2} \dots \dots \dots 3),$$

wenn wir die Helligkeit mit  $A$  bezeichnen, mit welcher das betreffende Licht die Fläche  $b \cdot b$  beleuchtet. Setzen wir in 3) statt  $\frac{b}{e}$  aus 2a) oder 2b) seinen Werth, so erhalten wir übereinstimmend:

$$H = A \cdot \frac{n^2 \cdot (N-1)^2}{(n-N)^2} \dots \dots \dots 3a).$$

Die Helligkeit  $J$  irgend eines Punktes im Zerstreuungskreise wird nun werden

$$J = \int H \cdot d n \dots \dots \dots 4),$$

wobei wir das Integral über alle diejenigen Werthe von  $n$  auszudehnen haben, deren zugehörige Farben auf jenen Punkt fallen.

In dem Ausdrucke für  $H$  ist der Factor  $A$  in Wirklichkeit eine Function von  $n$ , deren mathematischen Ausdruck wir aber nicht kennen. Der Factor  $n^2$  verändert in der ganzen Ausdehnung des Spectrum seinen Werth sehr wenig. Wir wollen deshalb setzen

$$A \cdot n^2 \cdot (N-1)^2 = B$$

und  $B$  als constant ansehen, d. h. annehmen, daß die Helligkeit der Spectralfarben durch die ganze Ausdehnung des Spectrums nahehin constant sei, und nur wenig vom rothen zum violetten Ende hin abnehme. Diese Annahme ist für unseren Zweck jedenfalls ungünstiger als die Wirklichkeit. Dann wird nach 4)

$$J = \int \frac{B \cdot d n}{(N-n)^2} \dots \dots \dots 4a)$$

zwischen den gehörigen Grenzen genommen. Es fallen aber auf jeden Punkt des Zerstreuungskreises erstens Strahlen aus dem rothen, und zweitens Strahlen aus dem violetten Theile des Spectrums. Die Grenzen der Brechbarkeit für die ersteren seien  $n_1$  und  $n_2$ , so daß

$$N > n_2 > n_1,$$

die Grenzen für die letzteren seien  $n_3$  und  $n_4$ , so daß

$$n_4 > n_3 > N$$

Dann wird die Gleichung 4a)

$$J = B \int_{n_1}^{n_2} \frac{dn}{(N-n)^2} + B \int_{n_3}^{n_4} \frac{dn}{(N-n)^2}$$

$$= B \left\{ \frac{1}{N-n_2} - \frac{1}{N-n_1} + \frac{1}{N-n_4} - \frac{1}{N-n_3} \right\} \quad 4b).$$

Ist nun  $\varrho_0$  die Entfernung des Punktes, dessen Helligkeit wir bestimmen wollen, vom Mittelpunkte des Zerstreuungskreises, so wird dieser Punkt von allen denjenigen Farben getroffen, für welche die Radien der Zerstreuungskreise größer sind als  $\varrho_0$ , also zwischen  $\varrho_0$  und  $r = \frac{1}{2} gg$  liegen. Nun ist für die weniger brechbaren Farben, wenn wir aus Gleichung 2a) den Werth von  $N-n$  bestimmen,

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} + \frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

134 Für  $n = n_1$  ist  $\varrho = r$ , für  $n = n_2$  ist  $\varrho = \varrho_0$ , also

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{N-n_1} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1) \cdot N} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_2} &= \frac{1}{N} + \frac{1}{(N-1) \cdot N} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned} \right\} \quad 4c).$$

Für die Bestimmung von  $n_3$  und  $n_4$  müssen wir den Werth von  $N-n$  aus Gleichung 2b) entnehmen.

$$\frac{1}{N-n} = \frac{1}{N} - \frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho}.$$

Für  $n = n_4$  wird  $\varrho = r$ , und für  $n = n_3$  wird  $\varrho = \varrho_0$ , also

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{N-n_4} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \frac{b}{r} \\ \frac{1}{N-n_3} &= \frac{1}{N} - \frac{1}{N \cdot (N-1)} \cdot \frac{b}{\varrho_0} \end{aligned} \right\} \quad 4d).$$

Setzen wir die Werthe aus 4c) und 4d) in 4b), so erhalten wir endlich

$$J = \frac{2B}{N \cdot (N-1)} \left\{ \frac{b}{\varrho_0} - \frac{b}{r} \right\} \quad 5).$$

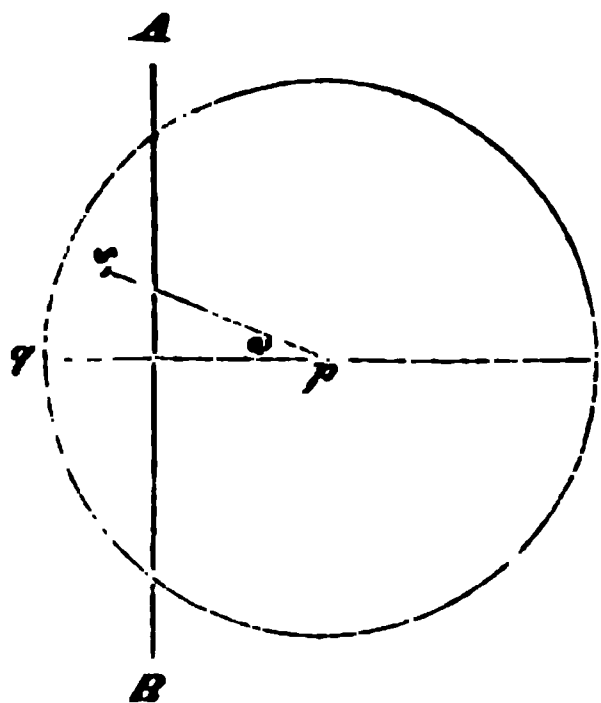


Fig. 82.

Kreises liegen. Wenn  $s$  einer dieser Punkte ist, und wir die Länge  $sp$  mit  $\varrho$ ,

Dieser Werth von  $J$  wird in der Mitte des Zerstreuungskreises für  $\varrho_0 = 0$  unendlich groß, am Rande, wo  $\varrho_0 = r$ , gleich 0.

Berechnung der Helligkeit am Rande einer gleichmäßig erleuchteten Fläche. Es sei in Fig. 82  $AB$  die Grenzlinie einer links von ihr liegenden leuchtenden Fläche, und angenommen, dass jeder Punkt derselben als Zerstreuungskreis erscheine. Es sei ferner  $p$  der Punkt, dessen Helligkeit bestimmt werden soll, und  $pq = r$  der Radius der Zerstreuungskreise. Es wird auf  $p$  Licht gelangen aus allen denjenigen Punkten der Fläche, welche innerhalb des mit dem Radius  $r$  um  $p$  geschlagenen

den Winkel  $spq$  mit  $\omega$ , und die Helligkeit des Zerstreuungskreises eines einzelnen Punktes in der Entfernung  $\varrho$  vom Centrum mit  $J$  bezeichnen, so wird die Helligkeit  $H$  im Punkte  $p$  werden:

$$H = \iint J \cdot \varrho \cdot d\omega \cdot d\varrho, \quad \dots \dots \dots 6),$$

dieses Integral. ausgedehnt über alle Theile der Fläche, welche innerhalb des um  $p$  geschlagenen Kreises liegen.

Wenn der Rand der Fläche eine gerade Linie und der Abstand des Punktes  $s$  von diesem Rande gleich  $x$  ist, so ist für die am Rande gelegenen Punkte der Fläche

$$\varrho \cdot \cos \omega = x$$

und wenn wir den Ausdruck für  $H$  zuerst nach  $\omega$  integrieren, und aus der letzten Gleichung den Werth für die Grenzen von  $\omega$  entnehmen,

$$H = \int_x^r 2 J \cdot \varrho \cdot \arccos \left( \frac{x}{\varrho} \right) \cdot d\varrho, \quad \dots \dots \dots 6a).$$

Wenn die Zerstreuungskreise durch unpassende Accommodation entstehen, 135 können wir  $J$  als unabhängig von  $\varrho$  betrachten und erhalten dann:

$$H = J \left[ r^2 \cdot \arccos \left( \frac{x}{r} \right) - x \cdot \sqrt{r^2 - x^2} \right], \quad \dots \dots \dots 7),$$

welche Gleichung für diesen Fall die Helligkeit in der Nähe des Randes der Fläche als Function des Abstandes vom Rande giebt. Für  $x = r$  wird  $H = 0$ , für  $x = -r$  wird  $H = Jr^2\pi$  und geht hier in die constante Helligkeit der Fläche über.

Wenn die Zerstreuungskreise durch Dispersion entstanden sind, können wir in Gleichung 6a) den Werth von  $J$  aus Gleichung 5) setzen, und erhalten durch Ausführung der Integration:

$$H = \frac{2 B \cdot b}{N \cdot (N-1)} \left\{ r \cdot \arccos \left( \frac{x}{r} \right) + \frac{x}{r} \sqrt{r^2 - x^2} + x \cdot \log. nat. \left( \frac{r - \sqrt{r^2 - x^2}}{r + \sqrt{r^2 - x^2}} \right) \right\} 8).$$

Für  $x = r$  wird  $H = 0$ , für  $x = -r$  wird

$$H = \frac{2 B \cdot b \cdot r \cdot \pi}{N \cdot (N-1)}$$

und geht hier in die constante Helligkeit des mittleren Theils der Fläche über.

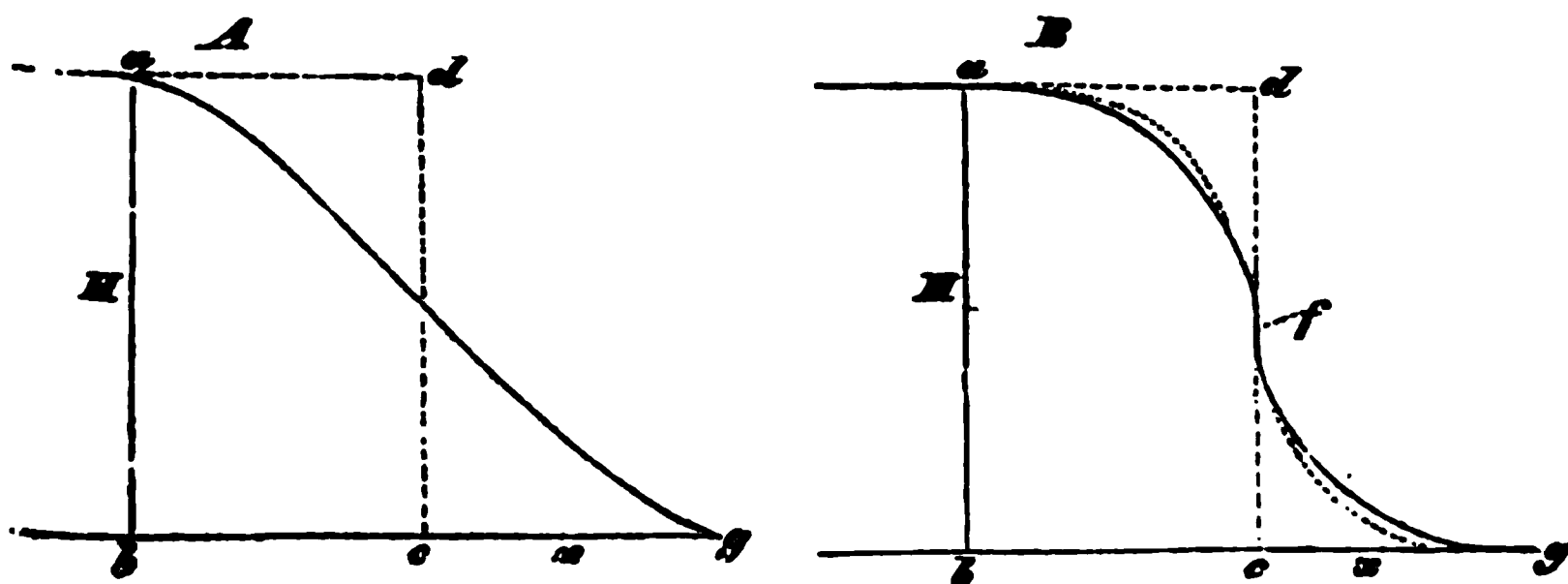


Fig. 83

Um den Gang dieser Functionen übersichtlicher darzustellen, habe ich in Fig. 83 die beiden Curven construirt. A entspricht der Gleichung 7), B der Gleichung 8).



nicht achromatisch sein könne, da alle einzelnen Brechungen der Lichtstrahlen nach der Axe zu gingen. Wenn wir das für farblos durchsichtige Mittel bisher stets bestätigte Gesetz als allgemeingültig ansehen, daß bei jeder Brechung des Lichts an der Grenzfläche von zwei ungefärbt durchsichtigen Substanzen die violetten Strahlen stärker gebrochen werden als die rothen, so ist DOLLOD's Beweisführung gültig. Dann muß nämlich im Auge jedenfalls bei jeder Brechung das violette Licht sich der Axe mehr nähern als das rothe. MASKELYNE<sup>1</sup> hat auch Messungen der Farbenzerstreuung gemacht und gefunden, daß das Intervall der Brennpunkte 0,02 Zoll (0,61 mm) betrage, was einem Gesichtswinkel von 25 Sec. entspreche; während man in Fernröhren sie noch bis zu einem Gesichtswinkel von 57 Sec. zulässig finde. JURIN<sup>2</sup> hat die farbigen Ränder unbestimmt gesehener Objecte bemerkt. WOLLASTON<sup>3</sup> machte auf das eigenthümliche Aussehen des prismatischen Spectrum aufmerksam, welches von der Unfähigkeit des Auges, sich für alle Farben gleichzeitig zu accommodiren, herrührt. Eine vollständige Theorie der Erscheinungen bei halbverdeckter Pupille gab MOLLWEIDE<sup>4</sup>, eine vollständige Bearbeitung sämtlicher hierher gehörigen Erscheinungen TOURNAI. Die ersten genauen Messungen der Farbenzerstreuung des Auges stellte FRAUNHOFER<sup>5</sup> an, mit Berücksichtigung der von WOLLASTON und ihm entdeckten festen Linien im Spectrum, spätere MATTHIESSEN<sup>6</sup>.

Trotz aller dieser Untersuchungen hielten manche Naturforscher doch die Idee 137 von der absoluten Vollkommenheit des Auges und somit auch seiner mehr oder weniger vollkommenen Achromasie fest, wie FORBES<sup>7</sup>, VALLÉE<sup>8</sup>.

## § 14. Astigmatismus.

Ausser der Ungenauigkeit des Bildchens, welche durch die ungleiche Brechung verschiedenfarbiger Lichtstrahlen bedingt ist, kommt bei den optischen Instrumenten, welche Glaslinsen mit sphärischen Flächen enthalten, noch eine zweite Art der Abweichung vor, die Abweichung wegen der Kugelgestalt oder sphärische Aberration, welche darin besteht, daß auch Lichtstrahlen von gleicher Farbe, die von einem Punkte ausgehen, von krummen Flächen im Allgemeinen nicht genau, sondern nur annähernd in einen Punkt wieder vereinigt werden. Wir wollen diese monochromatische Abweichungen nennen. Es giebt allerdings gewisse krumme Flächen, welche die Lichtstrahlen, die von einem bestimmten leuchtenden Punkte ausgehen, ganz genau in einen Punkt wieder vereinigen (aplanatische Flächen). Es sind dies Rotationsflächen, deren Erzeugungscurve im Allgemeinen durch eine Gleichung vierten Grades gegeben wird. In gewissen Fällen aber, z. B. wenn der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung liegt, ist die Erzeugungscurve eine Ellipse. Auch kann in Systemen von kugeligen brechenden Flächen durch eine passende Combination der Krümmungsradien und Abstände der Flächen die Kugelabweichung auf ein Minimum gebracht werden. Auch solche Systeme nennt man aplanatisch. Übrigens ist natürlich der

<sup>1</sup> H. MASKELYNE, *Philos. Trans.* LXXIX. 258. 1789.

<sup>2</sup> J. JURIN, *Smith's Optics*. 96.

<sup>3</sup> WOLLASTON, *Philos. Trans.* 1801. P. I. p. 50.

<sup>4</sup> K. B. MOLLWEIDE, *Gilbert's Annalen*. XVII. 328. 1804 und XXX. 220. 1808.

<sup>5</sup> J. FRAUNHOFER, *Gilbert's Annalen*. LVI. 301. — *Schumacher's astronom. Abhandlgn.* Heft II. S. 39.

<sup>6</sup> MATTHIESSEN, *Comptes rendus*. XXIV. 375.

<sup>7</sup> J. D. FORBES, *Roy. Edinb. Soc.* XVI. 1849. p. 251.

<sup>8</sup> L. L. VALLÉE, *Comptes rendus*. XXIV. 1096. XXXIV. 821.



Anders verhält sich der ausgedehntere Haarstrahlenkranz, den sehr intensives Licht erregt. Wenn man die Pupille von unten her verdeckt, verschwindet keineswegs der untere Theil dieses Kranzes, sondern nur der untere Theil des centralen hellen Sterns. Die Erscheinung wird aber da- 139 durch gestört und verändert, daß sehr lebhaft Diffractionsbilder sich entwickeln, welche von der verengerten und veränderten Gestalt der Pupille bedingt sind.

Die strahlige Gestalt der Sterne und ferner Laternen gehört mit zu diesen Erscheinungen.

2) Ist umgekehrt das Auge für eine grössere Entfernung als die des leuchtenden Punktes accommodirt (zu welchem Zwecke man bei fernen leuchtenden Punkten eine schwache Concavlinse vor das Auge bringen kann), so erscheint eine andere strahlenförmige Figur (*Fig. 84 c* aus meinem rechten, *d* aus meinem linken Auge), deren grössere Ausdehnung meist horizontal ist. Verdeckt man die Pupille von einer Seite her, so schwindet die entgegengesetzte Seite des vom Beobachter gesehenen Zerstreuungsbildes, d. h. die der verdeckten Hälfte der Pupille gleichseitigen Theile des Netzhautbildes. Diese Figur wird also von Strahlen gebildet, welche die Axe des Auges noch nicht geschnitten haben. Wenn sich Thränenflüssigkeit über das Auge verbreitet hat, oder durch häufiges Blinzeln mit den Lidern Fettröpfchen aus den MEIBOM'schen Drüsen auf die Hornhaut gekommen sind, ist die Strahlenfigur meist grösser, unregelmässiger, wird durch Blinzeln bedeutend verändert, und wenn man die Pupille von der Seite her verdeckt, verschwindet dadurch nicht blos eine Seite der Strahlenfigur.

3) Bringt man den leuchtenden Punkt in eine solche Entfernung, daß man das Auge für sie accommodiren kann, so sieht man bei mässigem Lichte einen kleinen rundlichen hellen Fleck ohne Unregelmässigkeiten. Bei stärkerem Lichte dagegen bleibt sein Bild bei jeder Weise der Accommodation strahlig, und man findet bei allmäligen Accommodationsänderungen nur, daß die vertical verlängerte Strahlenfigur, welche bei kürzerer Sehweite vorhanden ist, sich verkleinert, rundlicher wird und dann in die horizontal verlängerte Strahlenfigur übergeht, die einer grösseren Sehweite angehört.

4) Wenn man eine feine Lichtlinie betrachtet, kann man sich die Erscheinungen, welche entstehen, leicht dadurch im Voraus entwickeln, daß man die strahligen Zerstreuungsbilder für alle einzelnen Punkte der Linie construirt denkt, die sich nun zum Theile decken. Die helleren Theile der Zerstreuungsbilder fliessen dann zu Lichtlinien zusammen, welche als mehrfache Bilder der hellen Linie erscheinen. Die meisten Augen sehen zwei, manche in gewissen Lagen fünf oder sechs solche Doppelbilder.

Um den Zusammenhang der Doppelbilder von Linien mit den strahligen Bildern von Punkten gleich durch den Versuch anschaulich zu machen, schneide man in ein dunkles Papierblatt eine feine gerade Spalte, und ein wenig von deren Ende entfernt, in der Richtung ihrer Verlängerung, steche man ein rundes Löchelchen ein, wie *Fig. 85 a*. Von Ferne sehend, be-

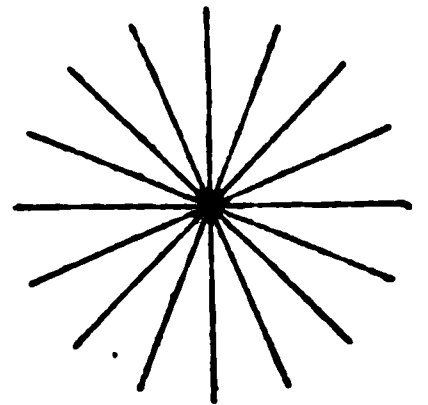








lichtes Band von einer gewissen Breite bilden. Umgekehrt würde eine lichte Verticallinie in *b* deutlich, in *a* undeutlich erscheinen. Ein astigmatisches Auge ist also im Allgemeinen nicht gleichzeitig für horizontale und verticale Linien, welche sich in gleicher Entfernung von ihm befinden, accommodirt. Man betrachte aufmerksam eine Anzahl gerader Linien, die sich in einem Punkte schneiden, wie *Fig. 87* in einer Entfernung, für welche man gut accommodiren kann. Man wird bemerken, daß man sie nach einander alle scharf begrenzt und dunkel schwarz sehen kann, während man aber eine von ihnen scharf sieht, sind im Allgemeinen die anderen nicht scharf. Ist man darin geübt, sich der Accommodationsänderungen seines Auges bewußt zu werden, so bemerkt man in der Regel, daß das Auge eine größere Sehweite annimmt, um die seinem horizontalen Durchmesser parallelen Linien deutlich zu sehen, mehr für die Nähe dagegen accommodirt, um die senkrechten zu sehen.

*Fig. 87.*

Man muß deshalb eine verticale Linie weiter vom Auge entfernen als eine horizontale, wenn man sie beide zu gleicher Zeit deutlich sehen will. A. D. FICK sah verticale Linien in 4,6 Mt. Entfernung deutlich, und zugleich horizontale in 3 Mt., ich selbst zu verticalen in 0,65 Mt., horizontale in 0,54 Mt. Entfernung.

Zeichnet man eine große Zahl feiner concentrischer Kreislinien in gleichen Abständen von einander auf Papier, wie in *Taf. I. Fig. 1*, und betrachtet sie in einer Entfernung, für die man gut accommodiren kann, so erscheinen eigenthümliche strahlige Scheine auf der Figur. Bei genauerer Betrachtung erkennt man, daß in den lichterem Radian die schwarzen und weißen Linien scharf von einander geschieden sind, dazwischen aber liegen hellgraue wolkige Stellen, in denen die schwarzen Linien mehr verwaschen erscheinen. Läßt man die Accommodation des Auges oder die Entfernung der Figur vom Auge etwas wechseln, so werden andere Stellen der Figur klar, und es entsteht dadurch der Anschein, als ob die klaren Strahlen sich sehr schnell hin und her bewegten. Richtet man das Auge für eine beträchtlich weitere Entfernung ein, als in der die Figur liegt, so sieht man 8 bis 10 Sektoren mit deutlichen Linien; wo diese an einander stoßen, sind sie nebelig, aber man erkennt, daß die schwarzen Linien des einen Sectors nicht mit denen des nächsten zusammenpassen. Die innersten Kreise bekommen dadurch ein seltsam verzerrtes Ansehen.

Der reguläre Astigmatismus zeigt sich in fast allen menschlichen Augen in geringem Grade. Seine Größe kann nach demselben Principe, wie die Breite der Accommodation gemessen werden. Astigmatische Augen haben, wie oben angeführt wurde, verschiedene Sehweite für Linien von verschiedener Richtung im Gesichtsfelde. Wenn die größte dieser Sehweiten in Pariser Zoll gemessen *P* ist und bei demselben unveränderten Accommodations-







den Strahlen werden dann also einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt in der Axe haben, dessen Entfernung von dem Krümmungsradius  $r$ , der Curve  $bch$  in  $b$  abhängt. Ist  $p$  unendlich entfernt, so ist die Vereinigungsweite der Strahlen, d. h. die Brennweite in dem vorliegenden Hauptschnitte gleich  $\frac{n \cdot r}{n - 1}$ .

Für die Strahlen von  $p$ , welche in dem anderen Hauptschnitte verlaufen, der durch  $bq$  und die dritte Axe gelegt ist, verhält sich wieder Alles ebenso, nur hat der Krümmungsradius im Scheitel der Fläche einen anderen Werth  $r_{,,}$ , und die Brennweite der Strahlen in diesem zweiten Hauptschnitte ist gleich  $\frac{n \cdot r_{,,}}{n - 1}$ .

Der Strahl  $pq$  wird also von den Strahlen, die in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben ihm liegen, in einem Punkte, etwa  $q$ , geschnitten; von den Strahlen dagegen, die in einer durch ihn senkrecht zur Ebene der Zeichnung gelegten Ebene ihm unmittelbar benachbart sind, nicht in demselben Punkte  $q$ , sondern in einem anderen Punkte, etwa in  $s$ .

Läßt man unter diesen Umständen die Strahlen von  $p$  durch eine kleine kreisförmige Öffnung, deren Mittelpunkt sich in der Axe bei  $b$  befindet, auf die brechende Fläche fallen, so ist der Querschnitt des Strahlenbündels unmittelbar bei  $b$  ein Kreis, zwischen  $b$  und  $q$  eine Ellipse, deren senkrecht zur Ebene der Zeichnung gestellte Axe größer ist als die in der Ebene liegende. Die Ellipse wird immer kleiner und zugleich gestreckter, je mehr wir uns dem Punkte  $q$  nähern. In  $q$  ist der Querschnitt des Strahlenbündels eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Linie. Weiterhin wird er wieder eine Ellipse, deren größere Axe senkrecht zur Ebene der Zeichnung steht, die schnell einem Kreise ähnlicher wird, ungefähr in der Mitte zwischen  $q$  und  $s$  wirklich ein Kreis wird und sich dann in eine Ellipse verwandelt, deren längere Axe in der Ebene der Zeichnung liegt, die sich gegen  $s$  hin immer mehr streckt, in  $s$  selbst sich in eine gerade Linie zusammenzieht und jenseits  $s$  allmählig wieder breiter wird und sich immer mehr der Kreisform nähert, wie dies in *Fig. 86*, (S. 174) dargestellt ist.

Ähnlich verhält es sich mit Strahlenbündeln, welche schief auf eine kugelige Fläche fallen. Nehmen wir an, in *Fig. 88* sei  $bch$  eine Kugelfläche und  $pc$  ein solcher schief auffallender Strahl. Wir wissen<sup>1</sup>, daß die Strahlen, welche in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben  $c$  auf die Fläche fallen, sich mit dem Strahle  $pc$  nach der Brechung nicht im Brennpunkte und in der Centrallinie  $pq$ , sondern in einem seitwärts von der Axe liegenden Punkte der kaustischen Fläche schneiden. Es sei dieser Punkt  $t$ . Denken wir uns dagegen die ganze Figur um die Linie  $ap$  gedreht, so tritt der Strahl  $pc$  allmählig an die Stelle anderer Strahlen, welche mit ihm gleich weit von dem Punkte  $b$  entfernt auf die Fläche fallen, und der gebrochene Strahl  $cq$  tritt an die Stelle der dazu gehörigen gebrochenen Strahlen. Diese Strahlen schneiden sich also alle nur im Punkte  $q$ .

Während also die in der Ebene der Zeichnung dem Strahle  $pc$  unmittelbar benachbarten Strahlen ihn in  $t$  schneiden, schneiden ihn diejenigen benachbarten Strahlen, die vor und hinter der Ebene der Zeichnung in gleicher Entfernung von  $b$  einfallen, in  $q$ , und endlich können wir hinzusetzen, daß ihn diejenigen Strahlen, welche weder in der Ebene der Zeichnung noch in gleicher Entfernung von  $b$ , wie  $bc$  ist, auffallen, gar nicht schneiden.

<sup>1</sup> s. oben S. 62. Fig. 40.

Es ist noch zu erörtern, inwiefern die Diffraction des Lichts in der Pupille von Einfluss auf die monochromatischen Abweichungen des Auges sein kann. Zunächst dürfte wohl die Frage aufgeworfen werden, ob die strahlige Form der kleinen Zerstreuungsfiguren nicht von den kleinen Einschnitten des Pupillarrandes veranlaßt sei. In der That sieht man eine ausgedehntere strahlige Figur, wenn man nach einem sehr hellen Lichtpunkte durch eine Öffnung sieht, welche kleiner als die Pupille ist, und deren Ränder nicht ganz feinpolirt sind; doch besteht eine solche Strahlenfigur in der Regel aus sehr feinen, mehr haarförmigen Strahlen mit lebhaften Farben, ähnlich dem schon oben beschriebenen Haarstrahlenkranz des Auges, der sehr helle Lichtpunkte umgiebt, auch wenn man sie nicht durch eine künstliche Öffnung betrachtet. Dreht man die Öffnung dann um ihren Mittelpunkt, so dreht sich der ganze Strahlenkranz mit ihr, woraus sich eben ergibt, daß dieser Strahlenkranz von den Rändern der Öffnung herrührt.

Von dem Vorhandensein einer Diffraction des Lichts, welche durch die Faserung der Krystalllinse veranlaßt wäre, konnte ich mich an meinem eigenen Auge nicht überzeugen. Wenn ich durch eine glatt gebohrte Öffnung einer Metallscheibe nach einem kleinen hellen Punkte sehe, so dreht sich immer die ganze Diffractionsfigur, wenn ich die Scheibe drehe. Gehörten einzelne Züge der Diffractionsfigur den Fasern der Hornhaut oder Linse an; so müßten diese stehen bleiben. Dagegen beschreibt BEER<sup>1</sup> aus seinem Auge Diffractionserscheinungen, welche von einer Faserung der Augenmedien herleitet.

Auch TYNDALL<sup>2</sup> beschreibt einen Fall, wo Interferenzringe erschienen, ähnlich denen, welche ein mit Lycopodiumsamen bepulvertes Glas zeigt.

Diese Diffractionsphänomene unterscheiden sich aber von denen der kleinen Zerstreuungskreise wesentlich durch den Umstand, daß letztere beim Verdecken der Pupille von einer Seite her auch von einer Seite her verschwinden, während die andere Seite ungestört bleibt. Wenn ein feines Fäserchen oder ein feiner Einschnitt dagegen Diffractionsstrahlen bildet, so erstrecken sich diese niemals bloß nach einer Richtung, sondern stets auch nach der entgegengesetzten, weil jede Unterbrechung einer Lichtwelle stets nach entgegengesetzten, meist nach allen Seiten hin ihren Einfluß ausübt. Die Haarstrahlentiguren zeigen nun wirklich diesen Charakter; sobald man die Pupille anfängt zu bedecken, werden mehr oder weniger alle Theile der Figur gestört und verändert.

Außer der Diffraction, welche Unregelmäßigkeiten des Randes der Pupille bewirken, kommt aber auch noch in Betracht, daß die ganze Pupille als enge kreisförmige Öffnung Diffraction hervorrufen kann. Jedes Mal, wo Strahlen eines leuchtenden Punktes durch eine oder mehrere brechende Flächen von begrenzter Apertur, die übrigens vollkommen achromatisch und aplanatisch sein mögen, gebrochen werden, entsteht im Vereinigungspunkte der Lichtstrahlen kein punktförmiges Bild, sondern wegen der Diffraction am Rande der Apertur eine kleine helle Figur, die abwechselnd helle und dunkle Stellen zeigt, deren Form und Lage im Allgemeinen von der Größe und Gestalt der Öffnung abhängig sind. Ist die letztere kreisförmig, was bei den optischen Instrumenten und im Auge gewöhnlich der Fall ist, so besteht die Diffractionfigur aus einer hellen Kreisscheibe, umgeben von mehreren dunklen und hellen Ringen von schnell abnehmender Helligkeit. Ist  $d$  der Durchmesser der Apertur des brechenden Systems,  $r$  der Abstand des Bildes von der

<sup>1</sup> E. BEER *Poggendorff's Ann.* LXXXIV. 518. 1853

<sup>2</sup> J. TYNDALL in *Phil. Magaz.* (4) XI. 332.



selben,  $l$  die Wellenlänge des Lichts, so ist der Durchmesser  $\delta$  der mittleren Kreisscheibe nach der durch die Versuche bestätigten Theorie dieser Erscheinungen

$$\delta = 2,440 \cdot \frac{l \cdot r}{d}.$$

Setzen wir für mittleres Licht  $l = \frac{1}{2000}$  mm und  $r$  für das Auge gleich 20 mm, so wird, wenn  $\delta$  und  $d$  in Millimetern ausgedrückt werden,

$$\delta = 0,0244 \cdot \frac{1}{d}.$$

Bei der kleinsten Pupillenweite, die wir gleich 2 mm setzen wollen, würde  $\delta$  gleich 145 0,0122 mm werden. Diese Grösse des Zerstreuungskreises entspricht einem Gesichtswinkel von 2 Min. 6 Sec., und ist gleich der Grösse des Zerstreuungskreises, den in einem für unendliche Entfernung adaptirten Auge ein 25 m entfernter Lichtpunkt entwirft. Da der Gesichtswinkel der kleinsten wahrnehmbaren Distanzen etwa 1 Min. beträgt, so muß bei engster Pupille die Diffraction eben anfangen, die Genauigkeit des Sehens zu beeinträchtigen.

Zu den monochromatischen Abweichungen gehören auch noch die Lichtstreifen, welche nach oben und unten von einem lichten Körper ausgehen, wenn man die Augenlider halb schließt. Sie rühren von der Brechung des Lichts in dem concaven Flüssigkeitsrande her, der sich an den Lidern erhebt. Dieser Rand wirkt wie ein kleines Prisma oder eine Reihe kleiner Prismen von veränderlichem Winkel, und lenkt das ihn treffende Licht stark von seinem Wege ab.

Die Messungen, welche von älteren Physikern über die Ungleichheit der Brennweite horizontal und vertical divergirender Strahlen ausgeführt worden sind, haben nur noch historisches Interesse. Bei einigen fehlen diese Abweichungen ganz und gar, wie z. B. bei BRÜCKE<sup>1</sup>, und wo sie vorkommen, zeigen sie sich in entgegengesetztem Sinne.

TH. YOUNG giebt an, daß sein Auge zu einem Focus sammelte vertical divergirende Strahlen eines 10 engl. Zoll (304 mm) entfernten leuchtenden Punktes, und horizontal divergirende eines 7 Zoll (213 mm) entfernten. Um die Grösse dieses Unterschieds unabhängig von den Sehweiten seines Auges auszudrücken, berechnet er die Brennweite eines Glases, welches im Stande wäre, als Brille gebraucht, die eine Entfernung auf die andere zu reduciren, und findet 23 engl. Zoll (700 mm). Um den Fehler seines Auges zu corrigiren, würde er ein Brillenglas mit einer convexen Cylinderfläche von horizontaler Axe oder ein solches mit einer concaven Cylinderfläche und verticaler Axe von der angegebenen Grösse der Brennweite gebraucht haben. A. FICK fand, daß er 4,6 m entfernte Verticallinien und 3 m entfernte Horizontallinien gleichzeitig deutlich gesehen habe. Ich selbst sehe gleichzeitig deutlich 0,65 m entfernte Verticallinien und 0,54 m entfernte Horizontallinien. Der Sinn der Abweichung ist in diesen beiden Fällen der entgegengesetzte wie bei TH. YOUNG, die Grösse eine viel geringere. Durch die Focallänge einer cylindrischen Linse ausgedrückt, entspricht die Abweichung in FICK's Auge einer Brennweite von 8,6 m und in meinem Auge 3,19 m. Dergleichen Messungen sind leicht auszuführen, indem man etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll über einem horizontalen, hinreichend langen Brettchen eine feine Nähnadel horizontal befestigt, und indem man sie vom Ende des Brettchens her betrachtet, eine verticale Nadel vor ihr oder hinter ihr in solcher Entfernung einsticht, daß beide gleich deutlich erscheinen.

A. FICK fand, daß ein unbefangenes blickendes Auge sich meist für Verticallinien accommodirt. Um annähernd die Entfernung der beiden Brennebenen berechnen zu können, wollen wir annehmen, daß LISTING's schematisches Auge für Verticallinien accommodirt sei. Machen wir die Abweichung der horizontal und vertical divergirenden

<sup>1</sup> E. BRÜCKE, *Fortschritte der Physik im Jahre 1845*. S. 211. Berlin 1847.

Strahlen darin ebenso groß wie bei den genannten drei Beobachtern, so würde liegen der Brennpunkt für horizontale Strahlen nach den Angaben von

Th. Young . . . 0,422 mm	vor dem anderen,
A. Fick . . . . 0,035 mm	} hinter dem anderen.
H. Helmholtz 0,094 mm	

Diese Abweichungen sind, wie man sieht, kleiner als die des rothen und violetten Brennpunktes (0,6 mm). Sie beeinträchtigen die Schärfe des Sehens auch so lange nicht sehr wesentlich, als es darauf ankommt, Linien von einander zu unterscheiden, die irgend einer Hauptrichtung folgen. Nur wo gekreuzte Linien gleichzeitig scharf gesehen werden sollen, treten sie hindernd auf. Die sehr ausgedehnte neuere Literatur über diesen Gegenstand ist theils schon gegeben, theils wird dies am Schluss des Werkes geschehen.

146

Die mehrfachen Bilder eines Punktes oder einer Linie bei ungenauer Accommodation haben schon DE LA HIRE<sup>1</sup> und JERIN<sup>2</sup> erwähnt, ohne aber die richtige Erklärung zu finden. Später beschrieb und bildete TH. YOUNG<sup>3</sup> die Form der Zerstreuungsfiguren ab bei verschiedener Entfernung des leuchtenden Punktes, und spricht die Vermuthung aus, daß die Strahlen von leichten Ungleichförmigkeiten der vorderen Linsenfläche herrühren möchten. Später erwähnt sie HASSENFRATZ<sup>4</sup>, welcher denselben Grund voraussetzt und sie als Schnittlinien von zwei kaustischen Flächen bezeichnet. PURKINJE<sup>5</sup> beschreibt die Erscheinungen der mehrfachen Bilder, ferner die, welche beim Anschauen feiner paralleler Linien eintreten, und bildet die Sternfigur ab; er glaubt sie am besten von Hornhautfacetten ableiten zu können. Mehrfache Bilder einer hellen Linie hat auch PUCKET<sup>6</sup> gesehen und erkannt, daß sie durch eine besondere Structur der brechenden Flächen veranlaßt sein müßten. Ebenso NIEDT<sup>7</sup>, GUÉRARD<sup>8</sup>, FRIEDNER<sup>9</sup>. Letzterer hat die hierher gehörigen Erscheinungen ausführlich in ihrem Zusammenhange beschrieben. TROUSSART<sup>10</sup> glaubt einen netzförmigen dunklen Schirm hinter den brechenden Flächen des Auges annehmen zu müssen, deren mehrfache Öffnungen nach dem Principe des SCHEIKER'schen Versuchs die mehrfachen Bilder veranlaßten. Die Ansicht über ihre Entstehung von A. FICK<sup>11</sup> ist oben schon erwähnt. Erwähnt werden hierher gehörige Erscheinungen noch von AIMÉ<sup>12</sup> und CRANMORE<sup>13</sup>. Eine ganz eigenthümliche Ansicht über den Ursprung der mehrfachen Bilder, die *Polyopia monophthalmica* der Augenärzte, hat STEINWAG von CARLOS<sup>14</sup> aufgestellt. Er glaubte beobachtet zu haben, daß die verschiedenen Bilder nach verschiedenen Richtungen polarisirtes Licht erhalten. Indessen ist dies nicht richtig. Herr Carlos ist bei seinen Versuchen wahrscheinlich durch eine schlecht geschliffene Tarnaluplatte mit schwach gewölbten Flächen oder Streifen im Innern getäuscht worden. Eine schwach cylindrische Fläche einer solchen Platte würde, vor das Auge gehalten, bald in horizontaler, bald in verticaler Richtung die Strahlen zur Vereinigung bringen und dadurch einzelne der Doppelbilder beseitigen können. Um den Fehler solcher Mangel der Platte aufzudecken, stelle man sie zwischen das Licht und einen Schirm mit enger Öffnung, so daß polarisirtes Licht durch die Öffnung fällt, wobei die Beobachter diese Öffnung aus hinreichender Entfernung betrachtet, um sie

<sup>1</sup> Mémoires de l'Académie des Sciences, 1702, p. 138.

<sup>2</sup> Mémoires de l'Académie des Sciences, 1702, p. 138.

<sup>3</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1.

<sup>4</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1.

<sup>5</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Neue Beiträge zur Kenntniss des Auges*, S. 113-114.

<sup>6</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>7</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>8</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>9</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>10</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>11</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>12</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>13</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.

<sup>14</sup> Philosophical Transactions, 1801, p. 1. *Ann. Chim. Phys.* XXXIV. S. 557.





dringt dann ein breiter Kegel divergirender Strahlen. Ein Auge  $o$ , welches der Öffnung sehr genähert wird, erblickt durch sie hindurch die breite, gleichmäfsig erleuchtete Fläche der Linse, auf welcher sich nun mit grofser 149 Deutlichkeit die entoptisch wahrzunehmenden Gegenstände darstellen. Wenn wie in *Fig. 90* der leuchtende Punkt  $a$  zwischen dem Auge und seinem vorderen Brennpunkte  $f$  liegt, entwerfen die Augenmedien ein entfernteres, vor dem Auge liegendes Bild  $\alpha$  von  $a$ , und die Strahlen durchdringen den Glaskörper in Richtungen, welche von  $\alpha$  aus divergiren. Unter diesen Umständen wird von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körper  $b$  ein Schatten  $\beta$  auf der Netzhaut entworfen, welcher gröfser ist als  $b$ .

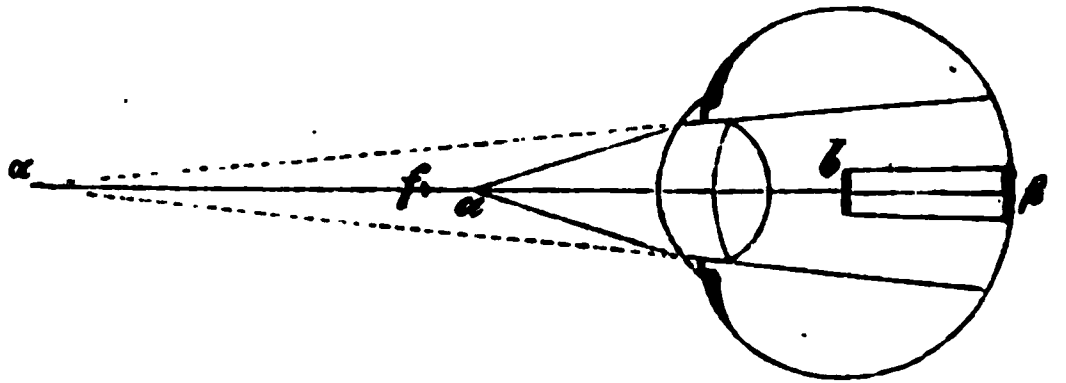


Fig. 90.

Wenn wie in *Fig. 91* der leuchtende Punkt  $a$  im vorderen Brennpunkte des Auges liegt, werden die von  $a$  ausgehenden Strahlen im Glaskörper parallel sein, und von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körperchen  $b$  wird ein Schatten  $\beta$  von gleicher Gröfse entworfen. Liegt endlich der leuchtende Punkt vom Auge weiter entfernt als der vordere Brennpunkt des Auges  $f$ , wie in *Fig. 92*, so fällt das Bild von  $a$  hinter das Auge nach  $\alpha$ , und die Strahlen convergiren im Glaskörper nach  $\alpha$  hin. Der Schatten  $\beta$  von  $b$  ist dann kleiner als  $b$ .

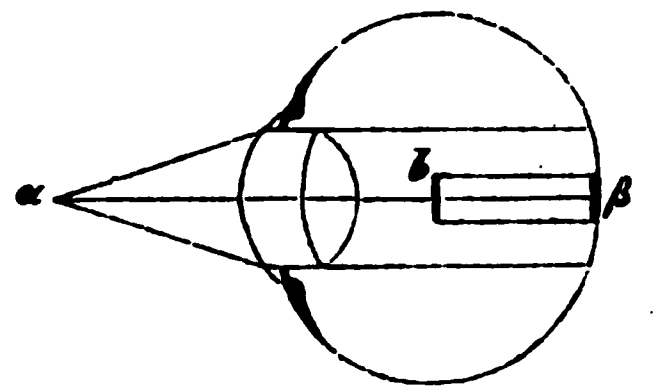


Fig. 91

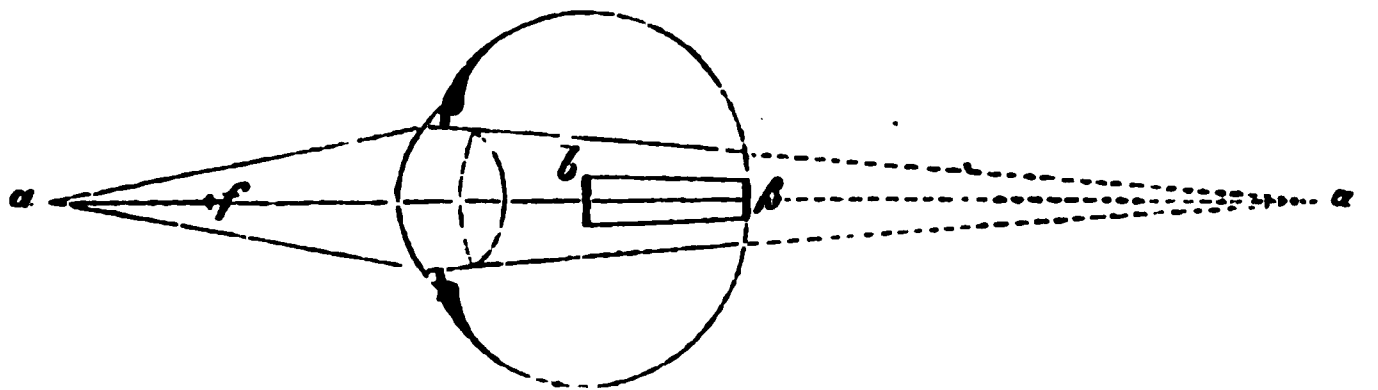


Fig. 92.

Dem entsprechend bemerkt man, dass die entoptisch sichtbar gewordenen Gegenstände sich scheinbar vergrößern, wenn man das Auge dem leuchtenden Punkte nähert; sich verkleinern, wenn man es von ihm entfernt.

Die bei diesen Versuchen beleuchtete Stelle der Netzhaut ist der Zerstreuungskreis des leuchtenden Punktes. Auf diesem werden die Schatten der entoptisch wahrgenommenen Gegenstände entworfen. Diese Schatten sind zwar scharf genug, dass man die Gestalt der Objekte ziemlich gut erkennen kann, wenn die Lichtquelle klein genug ist, aber sie bilden doch niemals ganz vollkommen scharfe Bilder, weil das Licht in Wirklichkeit doch nicht von einem einzigen Punkte, sondern stets von einer, wenn auch kleinen, leuchtenden Fläche kommt. Das von den Augenmedien entworfene Bild



1) Begrenzt ist das helle Feld durch den Schatten der Iris; es ist deshalb nahe kreisrund, entsprechend der Form der Pupille. Hat der Pupillarrand der Iris Einschnitte, Falten oder Vorsprünge, wie dies in vielen Augen der Fall ist, so sind dergleichen auch in dem entoptischen Bilde zu erkennen. Auch die Erweiterung und Verengerung der Pupille kann man entoptisch beobachten, am leichtesten, wenn man das andere Auge abwechselnd mit der Hand verdeckt und wieder frei läßt. Sobald Licht in dieses Auge fällt, verengern sich die Pupillen beider Augen, und man erkennt diese Verengerung leicht im entoptischen Bilde.

2) Von den Flüssigkeiten herrührend, welche die Hornhaut überziehen (Thränenfeuchtigkeit, Secret der Augenliderdrüsen), nimmt man oft im ent- 151 optischen Gesichtsfelde Streifen wahr, wolkig-helle oder lichtere Stellen, tropfenähnliche Kreise mit heller Mitte, welche durch Blinzen mit den Augenlidern schnell verwischt und verändert werden. Dergleichen sind dargestellt in *Taf. I. Fig. 2*. Sie sind meist in schnellem Zerfließen begriffen und haben eine selbständige Bewegung von oben nach unten. Die Streifen sind am stärksten ausgeprägt dicht am Rande der Augenlider, wenn man die Lider vor die Pupille treten läßt, und sind der Ausdruck der capillaren concaven Flüssigkeitsschicht, welche sich von der Hornhaut auf den Rand der Augenlider herüberzieht. Die Tropfen entstehen wohl durch capilläre Anhäufungen der feuchten Schicht um Schleimklümpchen, Staubtheile u. dgl. Die helle Stelle in der Mitte der Tropfen bildet oft ein unvollkommenes optisches Bild von der Lichtquelle, ist z. B. dreieckig, wenn das Licht durch eine dreieckige Öffnung in das Auge fällt. Dies Bild der Lichtquelle steht scheinbar aufrecht im entoptischen Gesichtsfelde, während es auf der Netzhaut verkehrt sein muss. Die Ansammlungen von Flüssigkeit auf der Hornhaut bilden hierbei kleine Convexlinsen, welche hinter sich ein umgekehrtes Bild der vor ihnen liegenden Gegenständen entwerfen. Der Bewegung dieser Gebilde im Gesichtsfelde von oben nach unten entspricht eine wirkliche Bewegung nach oben, welche wohl dadurch bedingt wird, daß das obere Augenlid, während es gehoben wird, die zähen Schleimtheile nachzieht.

3) Die kraus gewordene Vorderfläche der Hornhaut, nachdem man eine Zeit lang das geschlossene Auge mit den Fingern gedrückt oder gerieben hat. Man sieht ziemlich gleichförmig vertheilt gröfsere, unbestimmt begrenzte, wellige oder netzartig geordnete Linien und getigerte Flecken, die sich eine Viertelstunde bis zu einigen Stunden halten. Es sind dergleichen dargestellt in *Taf. I. Fig. 3*.<sup>•</sup> Zuweilen bleiben auch in dem Netze dieser Linien einzelne unveränderte glatte Stellen stehen, welche darauf schließen lassen, daß hier die Hornhaut eine andere Art der Consistenz habe.

Außerdem finden sich, von der Hornhaut herrührend, zuweilen constante dunkle Flecken und Linien vor, welche sich nicht ändern und wohl meist Reste von Entzündungen und Verletzungen sind.





von ihm erreicht werden zu können. Gerade auf diese Eigenthümlichkeit der Erscheinung bezieht sich wohl der Name der *Mouches volantes*. Man verwechsle diese scheinbare Bewegung nicht mit einer wirklichen, und achte bei den Beobachtungen der letzteren darauf, einen äußeren Gesichtspunkt ganz fest zu fixiren.

Um solche bewegliche Objecte mit Ruhe betrachten zu können, wählt man am besten eine Lage des Kopfes, wo das Auge vertical nach unten oder nach oben sieht, weil dann die Bewegungen der schwimmenden Körperchen aufhören. Übrigens kann man Mücken, welche seitlich im Gesichtsfelde liegen, zwingen, nach der Stelle des deutlichsten Sehens heranzuschwimmen, wenn man das Auge erst recht schnell in der Richtung bewegt, nach welcher sie vom Visirpunkt aus liegen und dann langsam zurückbewegt.

DONDERS und DONCAN<sup>1</sup> unterscheiden folgende Formen dieser Objecte:

a) Größere isolirte Kreise, bald mit dunkleren, bald mit blasseren Umrissen, in der Mitte heller, meist noch mit einem schmalen Lichtkreis umgeben. Sie haben zwischen  $\frac{1}{28}$  und  $\frac{1}{120}$  mm Durchmesser und sind  $\frac{1}{3}$  bis 3 oder 4 mm von der Netzhaut entfernt, kommen aber auch in der Linse vor. Ist das Auge lange ruhig gewesen, so zeigen sich nur wenige; sie kommen namentlich, und zwar scheinbar von unten her, zum Vorschein durch eine schnelle Bewegung des Auges von unten nach oben, der plötzlicher Stillstand folgt, und senken sich dann wieder langsam nach unten. Ihre Bewegung kann für die dunkelsten in einer Ausdehnung von  $1\frac{1}{2}$  mm direct beobachtet werden und ist wahrscheinlich viel ausgedehnter. Ihre seitlichen Bewegungen bei seitlichen Bewegungen des Auges findet DONCAN beschränkt. In meinen eigenen Augen kann ich einen solchen Unterschied nicht wahrnehmen. Wenn ich den Kopf auf die Seite lege, so finde ich, daß die Mücken jetzt ebenso schnell und weit scheinbar nach dem Erdboden hin sinken, in Wirklichkeit nach dem aufwärts gewendeten Augenwinkel emporsteigen, wie bei aufrechter Haltung des Kopfes. Bei der letzteren Haltung erscheinen die seitlichen Bewegungen der Mücken allerdings beschränkter als die absteigenden, weil sie seitlich eben nur die Bewegungen des Visirpunktes mitmachen. Eine Bewegung derselben parallel der Gesichtslinie gelang nicht zu constatiren. Viele, obgleich scheinbar von einander getrennt, scheinen sich immer in gleichem Abstände zu begleiten, oder bleiben in derselben Beziehung zu andern Formen, so daß man berechtigt ist, auf einen unsichtbaren Zusammenhang zu schließen. Ihnen entsprechend fand DONCAN bei mikroskopischer Untersuchung des freigelegten und unverletzten Glaskörpers von seiner Oberfläche aus darin blasse Zellen, welche in der Verwandlung in Schleimstoff begriffen zu sein schienen, wie in *Fig. 93.* abgebildet sind. 154

<sup>1</sup> A. DONCAN *Dissert. de corporis vitrei struct. Trajecti ad Rhenum 1854.* — *Onderzoekingen gedaan in het physiologisch Laborat. der Utrechtsche Hooogeschool. Jaar VI. 171.*



Entfernung von der Netzhaut keine getroffen werden. In den ersteren zeigen sich Falten von nicht weniger als  $\frac{1}{23}$  mm Breite, in den letzteren haben sie selten mehr als  $\frac{1}{60}$  mm. Sie kommen zum Vorschein, wenn die Gesichtslinie seitwärts bewegt wird, aber namentlich auch durch eine kräftige, plötzlich abgebrochene Bewegung von oben nach unten. Scheinbar steigen hierbei die dicht hinter der Linse gelegenen Falten nach oben, während umgekehrt die in der Nähe der Netzhaut gelegenen nach unten sinken, so daß sie sich in der Gesichtslinie an einander vorbei schieben. Meist sieht man nun die gefalteten Häute mehr und mehr undeutlich werden, ohne daß sie doch aus dem Gesichtsfelde sich entfernten, und doch kommen sie durch Wiederholung der Bewegung aufs neue deutlicher zum Vorschein. DONCAN schließt daraus, daß diese Häute nur scheinbar eine so ausgebreitete Bewegung haben, und daß nicht die Häute sich fortbewegen, sondern nur Faltungen sich fortpflanzen, welche sich bei der plötzlich unterbrochenen Bewegung des Auges an der Peripherie formen und sich bis an das andere Ende der Häute ausstrecken, wobei sie ihre Schärfe verlieren und minder sichtbar werden. Die Ursache der verschiedenen Richtung, worin die Bewegung dieser Häute und die Fortpflanzung der Falten stattfindet, ist darin zu suchen, daß die einen vor, die anderen hinter dem Drehpunkte des Auges liegen. Wenn man die Pupille durch Atropin erweitert, oder den leuchtenden Punkt sehr nahe an das Auge bringt, so daß man ziemlich weit zur Seite der Gesichtslinie sehen kann, so bemerkt man, daß namentlich bei kräftigen, plötzlich unterbrochenen seitlichen Bewegungen des Auges noch mehr Häute dicht hinter der Linse zum Vorschein kommen, die selten bis an die Gesichtslinie reichen, und mit einem unregelmäßigen, zuweilen zerfetzten Rande hier endigen.

Die Bewegungsart der frei beweglichen Objecte des Glaskörpers läßt wohl kaum einen Zweifel, daß sie kleine Körper sind, welche in einem vollkommen flüssigen Medium schwimmen und specifisch leichter sind als die Flüssigkeit. Da man sie oft durch das ganze entoptische Gesichtsfeld schwimmen sieht, und sie in meinem Auge wenigstens das Gesichtsfeld ebenso gut von oben nach unten, wie von rechts nach links durchschwimmen, dieses aber bei divergirend einfallendem Lichte einen größeren Theil der Netzhaut umfaßt, als die Pupille beträgt, so muß das Bassin, in welchem sie sich bewegen, längs der Netzhaut gemessen, jedenfalls größer sein als die Pupille. Dagegen scheinen die schwimmenden Körper sich nicht von der Netzhaut entfernen zu können, denn auch bei aufwärts gerichteter Gesichtslinie, wo die Objecte wegen ihrer specifischen Leichtigkeit streben müssen nach der Linsenseite des Glaskörpers hin zu schwimmen, sieht man dieselben Objecte sich längs der Netzhaut hin bewegen, aber nicht von ihr fort. Das Hinderniß mögen wohl die Membranen sein, deren Falten man im entoptischen Gesichtsfelde sieht und welche der Netzhaut parallel zu sein scheinen. Einige solche Körperchen scheinen auch an der Glashaut befestigt zu sein, wie denn DONDERS mittheilt, daß er in der Gesichtslinie

































den Grenzen der nächsten Körperchen bis in den Glaskörper dringen können. Solches Licht dagegen, welches nahe parallel der Ase der Körperchen zurückgeht, wird nur eine oder wenige totale Reflexionen erleiden, daher wenig geschwächt sein, wenn es das Körperchen verläßt, dann aber auch die Richtung nach der Pupille haben und durch diese austreten. Diese Function der Körperchen scheint namentlich bei denjenigen Thieren, welche statt der Schicht schwarzer Pigmentzellen auf der Aderhaut eine stark reflectirende Fläche (Tapetum) haben, von 168 Wichtigkeit zu sein. Einmal wird dadurch bewirkt, daß das Licht die empfindenden Netzhautelemente, welche es beim Einfallen getroffen hatte, bei seiner Rückkehr noch einmal trifft und erregt. Zweitens kann es rückkehrend nur dieselben oder höchstens theilweise die nächsten Netzhautelemente treffen, und sich nur zu einem kleinen Theile im Auge diffus zerstreuen, was die Genauigkeit des Sehens erheblich beeinträchtigen würde. Daß solches diffus zerstreutes Licht bei hinreichend hellen Netzhautbildern im Gesichtsfelde merkbar werden kann, zeigt die im vorigen Paragraphen beschriebene Beobachtungsweise der Aderfigur mittels eines unter dem Auge hin und her bewegten Lichts.

Ich lasse nun hier eine Reihe allgemeiner Sätze zur Begründung der mathematischen Theorie des Augenleuchtens und der Augenspiegel folgen, durch deren Aufstellung die Betrachtung der einzelnen Fälle später außerordentlich vereinfacht wird.

### Satz I.

Wenn zwei Lichtstrahlen in entgegengesetzter Richtung durch beliebig viele einfach brechende Mittel gehen, und in einem dieser Medien in eine gerade Linie zusammenfallen, so fallen sie in allen zusammen.

Es sei  $AB$  Fig. 106 der Theil der beiden Strahlen, von denen wir wissen,

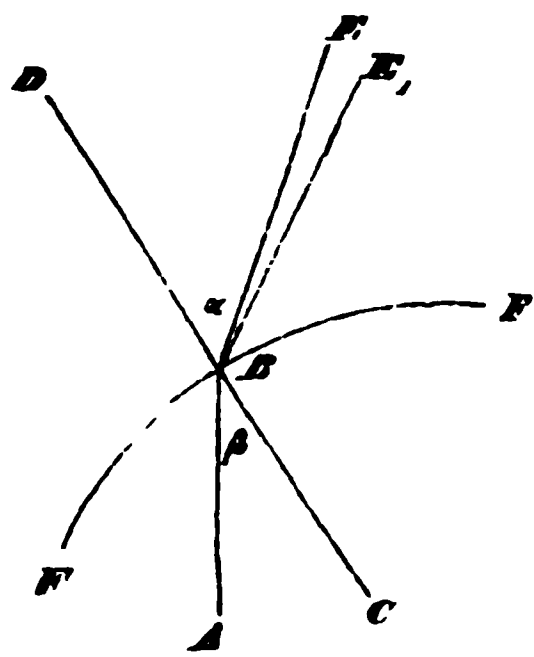


Fig. 106.

daß er beiden gemeinschaftlich angehöre. Der erste Strahl sei von  $E$  längs der Linie  $EB$  gekommen, in  $B$  gebrochen und nach  $A$  gegangen. Der zweite Strahl kommt von  $A$  längs der Linie  $AB$  nach  $B$ , wird hier gebrochen, und gehe nach  $E'$ . Zunächst ist zu beweisen, daß  $E, B$  mit  $EB$  zusammenfällt.  $DBC$  sei das Einfallslot,  $m$  das Brechungsverhältniß des Mittels, in welchem  $E$  und  $E'$ , der Winkel  $EBD$  gleich  $\alpha$  und der Winkel  $E', BD = \alpha$ , liegen;  $n$  dagegen das Brechungsverhältniß des Mittels, in welchem  $A$  und der Winkel  $ABC = \beta$  liegt. Für den ersten Strahl muß nach dem Brechungsgesetz  $AB$  in der durch  $DB$  und  $EB$  gelegten Ebene liegen, und ferner sein

$$m \cdot \sin \alpha = n \cdot \sin \beta.$$

Ebenso muß für den zweiten Strahl  $E', B$  in der durch  $DB$  und  $AB$  gelegten Ebene liegen, also in derselben, in welcher auch  $EB$  liegt, und es muß sein

$$m \cdot \sin \alpha, = n \cdot \sin \alpha.$$

Daraus folgt

$$\sin \alpha = \sin \alpha, \text{ oder} \\ \alpha = \alpha,$$

da beide Winkel nur im ersten Quadranten liegen können.

Daraus folgt, daß  $E, B$  mit  $EB$  zusammenfällt. Somit congruiren die beiden Strahlen auch in dem Mittel, in welchem  $E$  liegt, soweit dieses reicht.

Bei der nächsten brechenden Fläche läßt sich ihre Congruenz dann wieder für das dritte Medium folgern u. s. w.

Zusätze. 1) Auch sieht man leicht ein, daß bei Reflexionen an spiegelnden Flächen die Congruenz nicht gestört wird.

2) Für das Auge folgt, daß ein Strahl, der auf seinem Wege von der Netzhaut zur Linse mit einem anderen zusammenfällt, der von einem leuchtenden Punkte in das Auge und auf die Netzhaut fällt, auch außerhalb des Auges mit diesem congruirt.

3) Stellt man den Satz so allgemein hin, wie es hier geschehen ist, so muß man daran denken, daß bei gewissen Polarisationsrichtungen und Einfallswinkeln die Strahlen bei einer Brechung oder Reflexion ganz verlöschen könnten. Bei unseren Anwendungen auf die Beleuchtung des Auges treten solche Umstände nicht ein. Das Licht fällt auf 169 die brechenden Flächen des Auges fast senkrecht ein, wobei seine etwa vorhandene Polarisation so gut wie keinen Einfluss auf die Stärke des gebrochenen und reflectirten Theils hat. Uebrigens können wir die Schwächung der Strahlen durch Reflexion und Absorption an und in den Augenmedien vernachlässigen. Nur wenn man schräg gestellte Glasplatten als Reflector benutzt, muss man an die Schwächung des Lichts durch Reflexion denken.

Für die Intensität des hin und zurück gehenden Lichtstrahls läßt sich übrigens ebenfalls eine ganz entsprechende Regel von sehr ausgehnter Gültigkeit aufstellen, die ausgesprochen zu haben hier genügen mag, da wir bei gegenwärtiger Anwendung das Princip in seiner allgemeineren Form nicht brauchen. Den Beweis kann sich übrigens Jeder, der die Gesetze der Optik kennt, leicht selbst führen. Man kann diese allgemeinere Regel folgendermaßen aussprechen.

Ein Lichtstrahl gelange von dem Punkte  $A$  nach beliebig vielen Brechungen, Reflexionen u. s. w. nach dem Punkte  $B$ . In  $A$  lege man durch seine Richtung zwei beliebige, auf einander senkrechte Ebenen  $a_1$  und  $a_2$ , nach welchen seine Schwingungen zerlegt gedacht werden. Zwei eben solche Ebenen  $b_1$  und  $b_2$  werden durch den Strahl in  $B$  gelegt. Alsdann läßt sich folgendes beweisen: Wenn die Quantität  $J$  nach der Ebene  $a_1$  polarisirten Lichts von  $A$  in der Richtung des besprochenen Strahls ausgeht, und davon die Quantität  $K$  nach der Ebene  $b_1$  polarisirten Lichts in  $B$  ankommt, so wird auf demselben Wege rückwärts, wenn die Quantität  $J$  nach  $b_1$  polarisirten Lichts von  $B$  ausgeht, dieselbe Quantität  $K$  nach  $a_1$  polarisirten Lichts in  $A$  ankommen.

Soviel ich sehe, kann hierbei das Licht auf seinem Wege der einfachen und doppelten Brechung, Reflexion, Absorption, gewöhnlichen Dispersion und Diffraction unterworfen sein, ohne daß das Gesetz seine Anwendbarkeit verliert, nur darf keine Änderung seiner Brechbarkeit stattfinden, und es darf nicht durch Körper gehen, in denen der Magnetismus nach FARADAY'S Entdeckung auf die Lage der Polarisationsebene einwirkt.

### Satz II.

Wenn die Pupille des beobachteten Auges leuchtend erscheinen soll, so muß sich auf seiner Netzhaut das Bild der Lichtquelle ganz oder theilweise mit dem Bilde der Pupille des Beobachters decken.



## Allgemeines Gesetz der Beleuchtung.

Wenn sich in einem durchsichtigen Medium zwei verschwindend kleine Flächenelemente von der Grösse  $a$  und  $b$  in der gegenseitigen Entfernung  $r$  befinden, ihre Normalen mit der sie verbindenden geraden Linie beziehlich die Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  bilden, und  $a$  mit der Helligkeit  $H$  Licht aussendet, so ist die Lichtmenge  $L$ , welche von  $a$  auf  $b$  fällt,

$$L = \frac{H \cdot a b \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta}{r^2} \quad . . . . . 1).$$

Ebenso groß ist auch die Lichtmenge, welche von  $b$  auf  $a$  fallen würde, wenn  $b$  mit der Helligkeit  $H$  Licht aussendete.

## Satz III.

In einem centrirten Systeme von brechenden Kugelflächen sei  $n_1$  das Brechungsverhältniss des ersten,  $n_2$  das des letzten brechenden Mittels. In dem ersten befinde sich senkrecht gegen die Axe des Systems gerichtet und der Axe nahe ein Flächenelement  $\alpha$ , in dem letzten ein eben solches  $\beta$ . Wenn  $\alpha$  die Helligkeit  $n_1^2 \cdot H$  hat, und  $\beta$  die Helligkeit  $n_2^2 \cdot H$ , so fällt ebenso viel Licht von  $\alpha$  auf  $\beta$ , wie von  $\beta$  auf  $\alpha$ .

Um den Beweis nicht complicirter zu machen, als unsere beabsichtigten Anwendungen verlangen, vernachlässigen wir dabei die Schwächungen, welche die Strahlen an den brechenden Flächen durch Reflexion erleiden, und nehmen an, daß die Einfallswinkel der Strahlen an den brechenden Flächen immer klein genug sind, um ihre Cosinus gleich 1 setzen zu können, obgleich der Satz sich auch in 171 allgemeinerer Form beweisen läßt.

1) Wenn  $\beta$  nicht am Orte des Bildes von  $\alpha$  liegt.

Es sei  $AC$  die optische Axe des brechenden Systems,  $F$  sein erster,  $G$  sein zweiter Hauptpunkt,  $\alpha$  das erste Flächenelement, welches wir, da es verschwindend klein sein soll, nur durch einen Punkt in der Zeichnung dargestellt haben,  $\gamma$  sein Bild,  $f_1 f_2$  der Durchschnitt des einfallenden Strahlenbündels in der ersten Hauptebene,

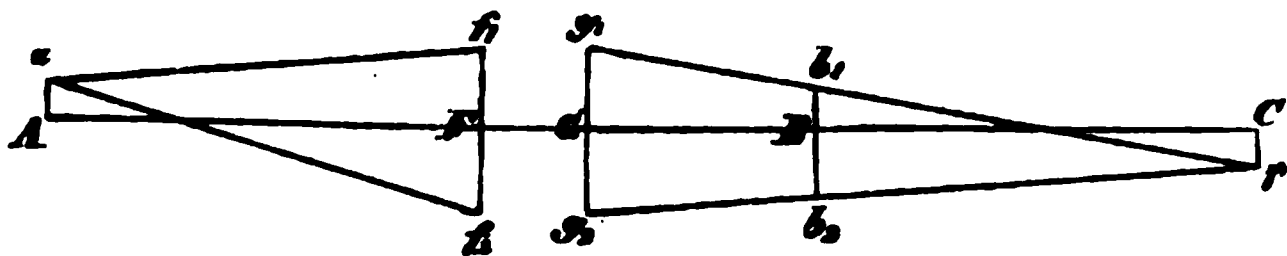


Fig. 107.

ersten Hauptebene,  $g_1 g_2$  derselbe in der zweiten. Die Grundfläche des Strahlenbündels in der ersten Hauptebene ist congruent derselben in der zweiten; ihre gemeinsame Grösse sei  $\Phi$ . Das zweite Flächenelement  $\beta$  liege in der Ebene, welche in  $B$  senkrecht gegen die optische Axe steht, und  $b_1 b_2$  sei der Durchschnitt des Strahlenbündels in dieser Ebene. Die Fußpunkte der von  $\alpha$  und  $\gamma$  auf die optische Axe gefällten Lothe seien  $A$  und  $C$ .

Die Lichtmenge, welche von  $\alpha$  auf die Grundfläche des Strahlenkegels  $f_1 f_2$  fällt, ist nach Gleichung 1) gleich

$$\frac{n_1^2 \cdot H \cdot \alpha \cdot \Phi}{AF^2},$$

wenn  $n_1^2 \cdot H$  die Helligkeit von  $\alpha$  ist. Dieselbe Lichtmenge fällt auch auf die weiteren Querschnitte des Strahlenkegels in  $g_1 g_2$  und  $b_1 b_2$ . Die Lichtmenge nun, welche in der letzteren Ebene auf das Elächenelement  $\beta$  fällt, verhält sich zu der ganzen Lichtmenge, welche die Fläche  $b_1 b_2$  trifft, wie die Oberfläche von  $\beta$  zu dem Querschnitt des Strahlenkegels in  $b_1 b_2$ , den wir mit  $\Xi$  bezeichnen wollen. Es ist also die ganze Lichtmenge  $X$ , welche von  $\alpha$  auf  $\beta$  fällt, gleich

$$X = \frac{\Phi}{\Xi} \cdot \frac{n_1^2 \cdot H \cdot \alpha \cdot \beta}{AF^2} \quad \dots \dots \dots 2).$$

Nun ist aber ferner

$$\frac{\Phi}{\Xi} = \frac{(g_1 g_2)^2}{(b_1 b_2)^2} = \frac{CG^2}{BC^2}.$$

Dieser Werth in die Gleichung 2) gesetzt, giebt

$$X = n_1^2 \cdot H \cdot \alpha \cdot \beta \frac{CG^2}{BC^2 \cdot AF^2}.$$

Da nun nach § 9 Gleichung 8a)

$$\frac{GC}{AF} = \frac{F_2}{AF - F_1},$$

wo  $F_1$  und  $F_2$  die beiden Brennweiten des Systems sind, so ist

$$X = H \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{n_1^2 \cdot F_2^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \dots \dots 2a).$$

Ebenso bekommt man nun für die Lichtmenge  $Y$ , welche von  $\beta$ , wenn es mit der Helligkeit  $n_2^2 \cdot H$  leuchtet, auf  $\alpha$  fällt, den Ausdruck

$$Y = H \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \frac{n_2^2 \cdot F_1^2}{[AF \cdot F_2 + BG \cdot F_1 - AF \cdot BG]^2} \quad \dots \dots 2b).$$

172 Da auf beiden Seiten Alles symmetrisch ist, braucht man, um dies zu erhalten, in dem Ausdrücke für  $X$  nur zu vertauschen

$$\begin{array}{l} AF \text{ mit } BG \\ F_1 \text{ mit } F_2 \\ \alpha \text{ mit } \beta \\ n_1^2 \cdot H \text{ mit } n_2^2 \cdot H \end{array}$$

Da nun nach § 9 Gleichung 9c)

$$n_1 \cdot F_2 = n_2 \cdot F_1$$

so folgt aus 2a) und 2b)

$$X = Y,$$

was zu beweisen war.

2) Wenn  $\beta$  an den Ort des Bildes von  $\alpha$  fällt.

Wir nehmen zuerst an, daß  $\beta$  in Gröfse und Lage dem Bilde von  $\alpha$  genau entspreche, dann entspricht auch  $\alpha$  genau dem Bilde von  $\beta$ . Alles Licht also, was von  $\alpha$  aus durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf  $\beta$ , umgekehrt, alles, was von  $\beta$  durch die brechenden Flächen dringt, fällt auf  $\alpha$ .

Wir behalten die Bezeichnungen der Figur 107 bei, nur daß wir uns das Element  $\beta$  jetzt in  $\gamma$  liegend denken.

Es ist dies von  $\alpha$  bei der Helligkeit  $n_1^2 \cdot H$  auf die brechenden Flächen und also auch auf  $\beta$  fallende Lichtmenge  $X$  wiederum

$$X = n_1^2 \cdot H \cdot \frac{\alpha \cdot \Phi}{A F^2} \dots \dots \dots 3a),$$

und die von  $\beta$  bei der Helligkeit  $n_2^2 \cdot H$  auf die brechenden Flächen und also auch auf  $\alpha$  fallende Menge  $Y$

$$Y = n_2^2 \cdot H \cdot \frac{\beta \cdot \Phi}{G C^2} \dots \dots \dots 3b),$$

Da nun  $\beta$  das Bild von  $\alpha$  sein soll, so ist nach § 9 Gleichung 8b), indem man berücksichtigt, daß  $\alpha$  und  $\beta$  ähnliche Flächen, also dem Quadrate ihrer entsprechenden Lineardimensionen proportional sind,

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{F_2^2}{(G C - F_2)^2},$$

und da ferner nach § 9 Gleichung 8a)

$$G C - F_2 = \frac{G C \cdot F_1}{A F},$$

so folgt

$$\frac{\alpha \cdot F_1^2}{A F^2} = \frac{\beta \cdot F_2^2}{G C^2},$$

und da  $F_1 : F_2 = n_1 : n_2$ , so folgt

$$\frac{\alpha \cdot n_1^2}{A F^2} = \frac{\beta \cdot n_2^2}{G C^2} \dots \dots \dots 3c),$$

Aus 3a), 3b) und 3c) zusammen folgt endlich

$$X = Y,$$

was zu beweisen war.

Sollte eines der beiden Elemente, z. B.  $\alpha$ , größer sein als das Bild von  $\beta$ , so würden die Theile von  $\alpha$ , welche nicht zum Bilde von  $\beta$  gehören, weder Licht auf  $\beta$  werfen, noch von  $\beta$  empfangen können, es würde dadurch also weder  $X$  noch  $Y$  geändert werden und unser Satz richtig bleiben.

**Zusätze** 1) Die ganze Beweisführung läßt sich ebenso gut auf centrirte Systeme 173 brechender und spiegelnder Kugelflächen anwenden.

2) Die leuchtende und beleuchtete Fläche brauchen auch nicht verschwindend klein zu sein, wenn sie nur klein genug sind, daß die Cosinus der Einfallswinkel der Strahlen an den brechenden Flächen sich nicht merklich von 1 unterscheiden. Denn da für jedes Paar verschwindend kleiner Flächenelemente der beiden Flächen der Satz gilt, so gilt er auch für die ganzen Flächen.

Wenn wir den eben bewiesenen Satz auf die Verhältnisse des Augenleuchtens anwenden und das eine Flächenelement in die Netzhaut des beobachteten Auges verlegen, statt des anderen die Pupille des Beobachters setzen, übrigens den Unterschied der Brechung zwischen wässriger und gläserner Feuchtigkeit vernachlässigen und zwischen den beiden Augen ein beliebiges System centrirter brechender oder spiegelnder kugelter Flächen angebracht denken, so können wir den Satz folgendermaßen aussprechen:







für Zerstreuungsbilder gleichmäfsig gilt. Auch hier ist die Helligkeit proportional dem Querschnitt des Strahlenbündels in der Pupille, welches von dem entsprechenden Punkte der Netzhaut bis nach der leuchtenden Fläche gelangen kann.

Ich erlaube mir zu bemerken, dafs gegen die hier entwickelten Grundsätze der Helligkeit dioptrischer und katoptrischer Apparate noch oft gesündigt wird. Man findet noch oft die irrige Meinung ausgesprochen, dafs, wenn man Licht durch Sammellinsen oder Hohlspiegel in das Auge, u. s. w. fallen läfst, man dadurch nicht blos die scheinbare Grösse der leuchtenden Fläche, sondern auch ihre scheinbare Helligkeit vermehren könne. Der Vermehrung des in das Auge fallenden Lichts, welche durch solche Mittel erreicht werden kann, entspricht stets eine entsprechende Vergrößerung des Bildes, so dafs das Bild eben nur gröfser, nicht heller wird. Durch kein optisches Instrument kann man die Helligkeit einer leuchtenden Fläche von erkennbaren Dimensionen für das Auge gröfser machen, als sie dem blofsen Auge erscheint. Ebenso wenig kann eine beleuchtete Fläche jemals eine gröfsere Helligkeit bekommen, als die leuchtende hat.

### Satz V.

Allgemeines Verfahren, die Helligkeit zu bestimmen, mit welcher dem Beobachter durch einen Augenspiegel eine Stelle der Netzhaut beobachteten Auges erscheint.

a) Wenn der Verlust, den die einzelnen Strahlen an den brechenden und reflectirenden Flächen erleiden, vernachlässigt werden kann. Es sei  $x$  ein Punkt an der betreffenden Stelle der Netzhaut; wir haben zu untersuchen, wie das Strahlenbündel verläuft, welches von  $x$  nach der Pupille desselben Auges geht. Nach Satz I und II mufs ein Theil dieses Strahlenbündels zum leuchtenden Körper, ein anderer zur Pupille des Beobachters gehen. Es sei  $P$  der Querschnitt der Pupille des beobachteten Auges,  $p$  in dieser Pupille der Querschnitt desjenigen Theils des Strahlenbündels, welches zum leuchtenden Körper zurückgelangt,  $H$  die Helligkeit, welche der betreffenden Netzhautstelle zukommen würde, wenn das beobachtete Auge frei nach dem leuchtenden Körper blickend, auf ihr ein Bild dieses Körpers entwürfe. Wir können diese die normale Helligkeit nennen. Sie hängt natürlich wesentlich von der Structur der Netzhaut ab, ferner von der Helligkeit des leuchtenden Körpers und der Weite der Pupille  $P$ . Bei Anwendung des Augenspiegels mufs nothwendig die wirkliche Helligkeit der Netzhautstelle kleiner werden, nämlich

$$\frac{p}{P} \cdot H.$$

Weiter ermittle man den Querschnitt  $q$ , den der Theil des von  $x$  ausgegangenen Strahlenbündels, welcher in die Pupille des Beobachters gelangt, in dieser Pupille hat, deren ganzer Flächeninhalt  $Q$  sei, so ergibt sich schliesslich für die Helligkeit der Netzhautstelle, wie sie dem Beobachter erscheint.

$$\frac{q \cdot p}{Q \cdot P} H.$$

b) Wenn die Strahlen durch Spiegelung oder Brechung einen merklichen Verlust erleiden. Unter den bisher construirten Formen der Augenspiegel kommt ein solcher nur bei dem von mir angegebenen mit unbelegten spiegelnden Platten vor. Das vom Auge zum leuchtenden Körper gehende Strahlenbündel wird in diesem Falle und allen ähnlichen ebenso viel verlieren als die vom Lichte wirklich zum Auge gehenden Strahlen. Man braucht also auch nur den

Verlust des ersteren zu berechnen. Es möge von einem Strahl, der vom Licht zum beobachteten Auge geht, und dessen Intensität 1 ist,  $\alpha$  im Auge ankommen, und von einem eben solchen Strahle, der vom beobachteten Auge ausgeht,  $\beta$  in dem des Beobachters ankommen, dann müssen wir den obigen Ausdruck für die Helligkeit noch mit  $\alpha$  und  $\beta$  multipliciren; er wird also

$$\frac{\alpha \cdot \beta \cdot p \cdot q}{P \cdot Q} H.$$

Durch die in den vorstehenden Sätzen vollzogene Umkehr des Problems von der Beleuchtung des Auges haben wir die Untersuchung der Helligkeit der Bilder für jeden Fall auf die Bestimmung des Ganges eines einzigen Strahlenbündels reducirt, während es sonst nöthig war, die Helligkeit einer einzelnen Netzhautstelle aus der Helligkeit aller über einander gelagerten Zerstreuungskreise, welche den einzelnen Punkten der Lichtquelle entsprechen, durch Summation zu bestimmen. Auch glaube ich, daß die Sache dadurch der Anschauung zugänglicher wird. Den Gang der Strahlen von einem Netzhautpunkte durch die verhältnißmäßig einfachen optischen Systeme der Augenspiegel, von denen eines zur Beleuchtung, eines zur Beobachtung dient, einzeln genommen kann man sich leicht veranschaulichen, während die ganze Übersicht des Ganges der Lichtstrahlen von der Lichtquelle bis zum Auge des Beobachters meist deshalb schwierig wird, weil auf der Netzhaut eine unendliche Zahl in einander greifender Zerstreuungskreise der Punkte der Lichtquelle und der Pupille des Beobachters entstehen.

#### Satz VI.

Die Mittel, ein deutliches Bild des Augenhintergrundes zu erhalten.

*A Fig. 108* sei das beobachtete Auge, *a* ein Punkt seiner Netzhaut, dessen Bild von den Augenmedien in *b* entworfen wird, in der Entfernung, wo das beobachtete Auge

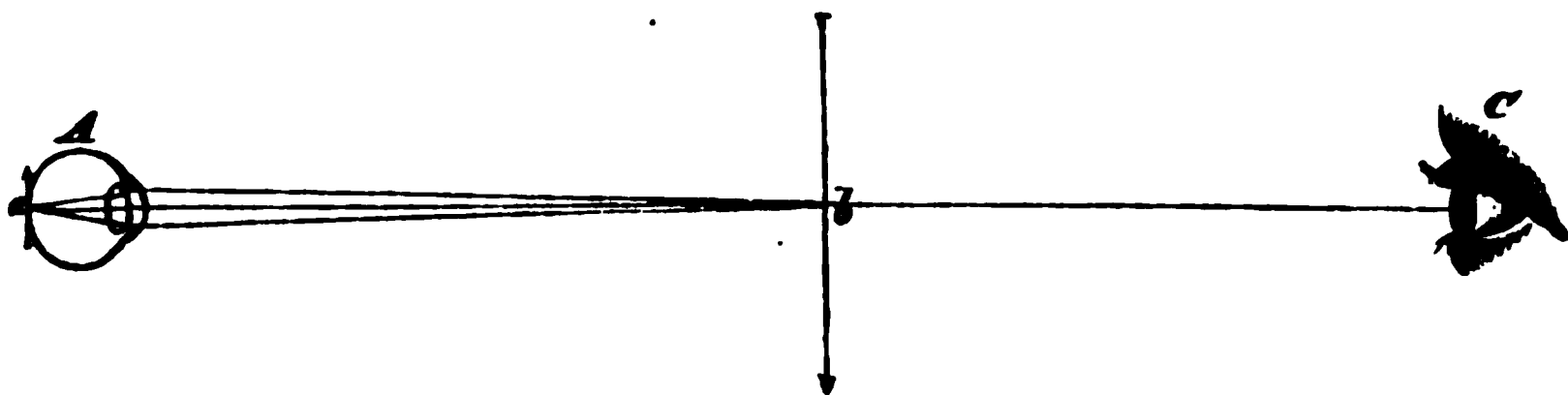


Fig. 108.

deutlich sieht. Die beiden Pfeile, welche bei *a* und *b* gezeichnet sind, entsprechen der Größe der zusammengehörigen Bilder. Das Bild der Netzhautstelle ist vergrößert und umgekehrt. Ein Beobachter, welcher ohne weitere Hilfsmittel dies Bild der Netzhaut in *b* sehen wollte, müßte also noch weiter entfernt vom Auge *A*, etwa in *C* sich befinden, so daß die Entfernung *Cb* wieder gleich der Sehweite des Beobachters würde. Hierbei würde aber das von der Pupille des beobachteten Auges begrenzte Gesichtsfeld des Beobachters so klein sein, daß er schwerlich etwas erkennen könnte.

Es sind bisher zwei Hauptmethoden angewendet worden, um die Lage des Bildes *b* dem Beobachter bequemer zu machen. Bei der einen wird ein virtuelles aufrechtes Bild der Netzhaut, bei der anderen ein reelles umgekehrtes entworfen

## A. Darstellung der Netzhaut im virtuellen aufrechten Bilde.

Man wendet dazu eine Concavlinse  $B$  in *Fig. 109* an, deren Brennweite  $Bp$  kleiner ist als die Entfernung des Punktes  $b$  von ihr. Eine solche macht die von

$A$  nach  $b$  hin convergirenden Lichtstrahlen wieder divergent, so daß sie von einem scheinbar bei  $d$  im Rücken des beobachteten Auges gelegenen Punkte zu kommen

scheinen. Die Pfeile bezeichnen wieder Lage und Gröfse der Netzhautstelle und ihrer Bilder.

Nennen wir  $p$  die (negative) Brennweite der Concavlinse,  $\alpha$  die Entfernung  $Bb$ ,  $\gamma$  die Entfernung  $dB$ , so ist nach § 10 Gleichung 14)

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{p};$$

$\gamma$  muß gleich der Sehweite des Beobachters sein, wenn er das bei  $d$  entworfene Bild der Netzhaut deutlich sehen soll;  $\alpha$  hängt von der Accommodationsweite  $Ab$  des beobachteten Auges und der Entfernung  $A$  von  $B$  ab. Hat man den Werth beider Gröfsen festgestellt, so kann man aus der gegebenen Gleichung den Werth von  $p$  berechnen, welcher gewählt werden muß, um deutliche Bilder zu geben.

Wären beide Augen für unendliche Ferne accommodirt, also  $\alpha = \gamma = \infty$ , so würde auch  $p = \infty$  werden müssen, d. h. es wäre gar keine Linse nothwendig.

Auch für die seitlich gelegenen Theile der Netzhaut ist gewöhnlich keine Linse nothwendig, weil diese vor den dorthin fallenden Vereinigungspunkten der Lichtstrahlen weit entfernter Lichtpunkte zu liegen scheinen, und die Augenmedien von ihnen daher selbst schon ein dem Beobachter passendes Bild entwerfen.

Das Netzhautbild in  $d$  ist bei dieser Beobachtungsweise aufrecht.

Was die Vergrößerung betrifft, so denke man in  $b$  einen leuchtenden Gegenstand, dessen Bild auf der Netzhaut in  $a$  entworfen werden würde. Die rückkehrenden Strahlen bilden ein Bild des Netzhautbildes, welches nach den vorher auseinandergesetzten Grundsätzen des Augenleuchtens dem leuchtenden Gegenstande in  $b$  congruent ist. Nennt man  $\beta$  die Gröfse des leuchtenden Gegenstandes und des ihm gleichen Bildes in  $b$ ,  $\delta$  die des vom Beobachter gesehenen Bildes in  $d$ , so ist

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}.$$

Als Maß für die scheinbare Gröfse des gesehenen Bildes können wir seine Gröfse dividirt durch seine Entfernung von dem sehenden Auge gebrauchen. Befindet sich das Auge des Beobachters dicht hinter dem Concavglase, so wäre die scheinbare Gröfse des Bildes

$$\frac{\delta}{\gamma} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

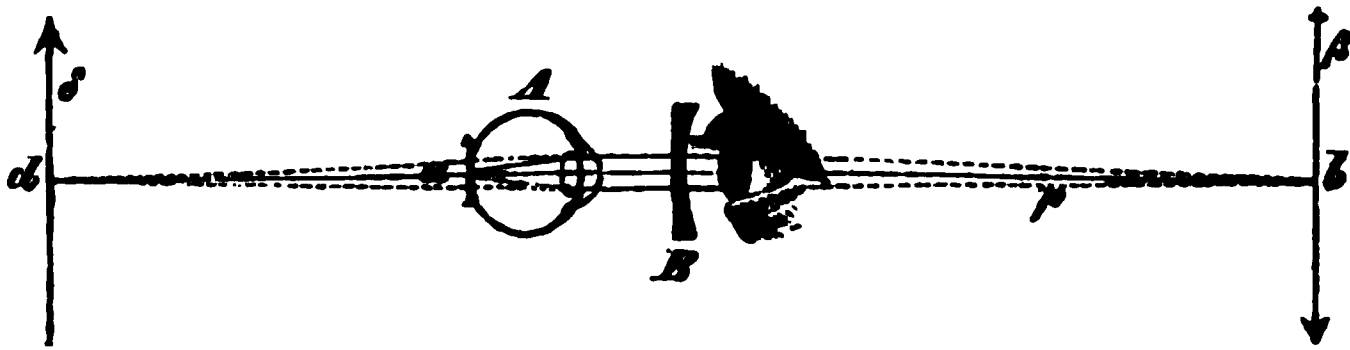


Fig. 109.

Nennen wir die Entfernung  $AB$  nun  $q$ , so ist die scheinbare GröÙe des Objects  $b$  für das Auge  $A$

$$\frac{\beta}{\alpha + q},$$

also etwas kleiner als die des Bildes  $\delta$  für den Beobachter. Ist die Sehweite des Auges  $A$  sehr viel gröÙer als  $q$ , so kann man  $q$  gegen  $\alpha$  vernachlässigen, und findet auch für das beobachtete Auge die scheinbare GröÙe des leuchtenden Gegenstandes gleich  $\frac{\beta}{\alpha}$ .

Die Netzhautbilder des beobachteten Auges erscheinen also bei dieser Anordnung dem Beobachter unter gleichem oder etwas gröÙerem Gesichtswinkel als die entsprechenden Gegenstände dem beobachteten Auge.

Daraus ergibt sich nun leicht die VergröÙerung der Netzhauttheile des beobachteten Auges. Ist  $x$  die GröÙe des auf der Netzhaut in  $\alpha$  entworfenen Bildes von  $\beta$ , und  $y$  der Abstand der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges, so verhält sich

$$\begin{aligned} \frac{x}{\beta} &= \frac{y}{\alpha + q} \\ \frac{\beta}{\delta} &= \frac{\alpha}{\gamma}. \quad \text{Beides multiplicirt giebt:} \\ \frac{x}{\delta} &= \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)}. \end{aligned}$$

178

$y$  ist in LISTING's schematischem Auge gleich 15,0072 mm (oder 6,694 Par. Lin.),  $\gamma$  ist hier nach der bei der Berechnung von VergröÙerungen angenommenen Norm der Sehweite gleich 8 Zoll zu setzen. Daraus ergibt sich die VergröÙerung

$$\frac{\delta}{x} = 14,34 \frac{\alpha + q}{\alpha}.$$

Da  $q$  gegen  $\alpha$  gewöhnlich sehr klein ist. können wir die VergröÙerung gleich  $14\frac{1}{3}$  mal annehmen.

Das Gesichtsfeld, welches man übersieht, ist bei dieser Methode durch den unendlich geschenen Rand der Pupille des beobachteten Auges nicht scharf begrenzt. Um eine bestimmte Grenze passend zu wählen, kann man die nach dem Rande der Pupille des beobachteten Auges gezogenen Visirlinien des Beobachters nehmen, deren Kreuzungspunkt<sup>1</sup> im Mittelpunkt der Pupille des Beobachters liegt. Wenn man diese Visirlinien wie Lichtstrahlen behandelt, die von dem Mittelpunkte der Pupille des Beobachters ausgehen, findet man, daß das Gesichtsfeld des Beobachters auf der Netzhaut des beobachteten Auges dem Zerstreuungsbilde entspricht, in welchem der Mittelpunkt der Pupille des Beobachters dort erscheint. Liegt dieser Mittelpunkt oder vielmehr sein durch die Concavlinse geschenes Bild im ersten Brennpunkte des beobachteten Auges, so ist der Zerstreuungskreis, wie im vorigen Paragraphen bei den entoptischen Erscheinungen nachgewiesen ist, ebenso groß wie die Pupille des beobachteten Auges. Meist wird aber das Auge des Beobachters sich dem beobachteten Auge nicht so weit nähern können, und dann wird der dem Gesichtsfelde gleiche Zerstreuungskreis kleiner als die Pupille des beobachteten Auges werden, um so kleiner, je weiter der Beobachter sich entfernt.

<sup>1</sup> S. § 11, S. 115.

## B. Darstellung der Netzhaut im reellen umgekehrten Bilde.

Die zweite Methode, das Bild der Netzhaut dem Beobachter bequem sichtbar zu machen, besteht darin, daß man nahe vor das beobachtete Auge eine Convex-

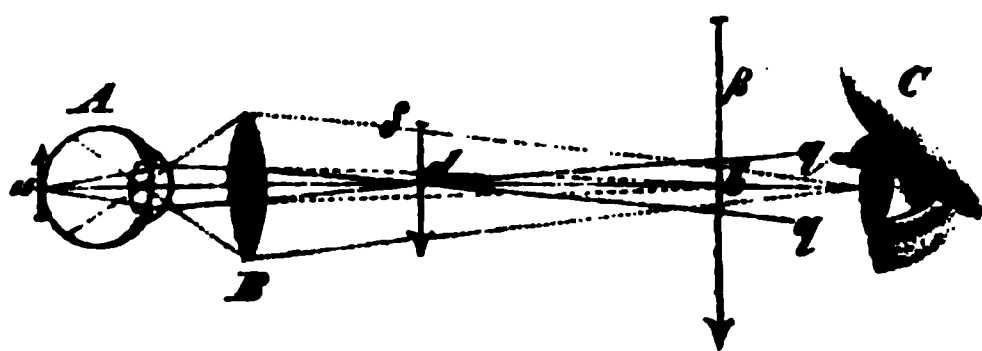


Fig. 110.

linse von kurzer Brennweite, 1 bis 3 Zoll, hält. Es sei wieder in Fig. 110 a ein beleuchteter Punkt der Netzhaut, b sein Bild außerhalb des beobachteten Auges A, B eine Convexlinse, auf welche die Strahlen fallen, ehe sie sich zum Bilde vereinigen. Diese ent-

wirft ein kleineres und näheres Bild, als b ist, in d, ebenfalls in umgekehrter Stellung, wie das in b. Das Auge des Beobachters befindet sich in C, so weit entfernt, als es zur Accommodation dieses Auges für das Bild nothwendig ist.

Ist  $p$  die positive Brennweite der Linse B, und wird die Entfernung  $Bb$  wieder mit  $\alpha$ ,  $Bd$  mit  $\gamma$  bezeichnet, so ist (Gleichung 14 auf S. 84)

$$\frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\alpha + p}{p}.$$

179 Da  $\alpha$  meist sehr viel größer ist als  $p$ , so wird  $\gamma$  nahehin gleich  $p$ , bleibt aber stets etwas kleiner.

Die Größe eines Netzhauttheiles im Punkte a sei  $x$ , die seines Bildes in b sei  $\beta$ , die des letzteren Bildes in d sei  $\delta$ , und die Entfernung der Netzhaut vom hinteren Knotenpunkte des Auges sei  $y$ , die Entfernung des ersten Hauptpunktes der Linse B vom vorderen Knotenpunkte des Auges A sei  $q$ , so ist nach Gleichung 6 S. 67

$$\frac{x}{\beta} = \frac{y}{\alpha + q}$$

$$\frac{\beta}{\delta} = \frac{\alpha}{\gamma}. \text{ Beides multiplicirt giebt}$$

$$\frac{x}{\delta} = \frac{y \cdot \alpha}{\gamma \cdot (\alpha + q)} = \frac{y \cdot (\alpha + p)}{p \cdot (\alpha + q)}.$$

In der Regel stellt man die Linse B so, daß die Pupille von A in ihrem einen Hauptbrennpunkte liegt, dann wird also  $p$  nahehin gleich  $q$ , und die Vergrößerung

$$\frac{\delta}{x} = \frac{p}{y}.$$

Nehmen wir für  $y$  den Werth aus LISTING's schematischem Auge, so ergibt sich daß das Bild  $\delta$

2 mal vergrößert ist,	wenn $p = 30$ mm (13,4''')
3 mal	wenn $p = 45$ mm (20,1''')
4 mal	wenn $p = 60$ mm (26,8''').

Dies ist die wirkliche Vergrößerung des objectiven Bildes. Die Vergrößerung für den Beobachter, wenn die Entfernung  $Cd$  gleich  $c$  gesetzt wird, ist

$$\frac{p}{yc} \times 8 \text{ Zoll.}$$

Das Gesichtsfeld sieht der Beobachter bei dieser Methode begrenzt durch die Pupille des beobachteten Auges, so lange die Convexlinse diesem Auge sehr nahe steht. Je weiter man die Convexlinse aber entfernt, desto stärker vergrößert erscheint die Pupille, bis sie endlich in die Nähe des Brennpunktes der Glaslinse kommt, dann verschwindet der Pupillarrand ganz aus dem Gesichtsfelde, und die Ausdehnung des letzteren wird nur noch von der Apertur dieser Linse bestimmt. Um die GröÙe des Gesichtsfeldes zu bestimmen, können wir wieder, wie in dem vorigen Falle, die Visirlinien des Beobachters wie Lichtstrahlen behandeln. Zunächst entwirft die Linse *B* ein Bild vom Kreuzungspunkt der Visirlinien in der Nähe ihres Brennpunktes, also nahehin in die Ebene der Pupille des beobachteten Auges. Von da divergiren die Visirlinien nach dem Hintergrund des beobachteten Auges hin. Da ihr Vereinigungspunkt in der Nähe des vorderen Knotenpunktes des beobachteten Auges liegen wird, oder vielleicht auch, je nach der Stellung der Linse *B*, ganz mit diesem Knotenpunkte zusammenfallen wird, so gehen die Visirlinien des Beobachters fast ungebrochen in das beobachtete Auge hinein. Ihr Gang ist in *Fig. 110* durch die punktierten Linien angedeutet. Ist die Apertur der Linse *B* gleich  $u$ , der Durchmesser des Gesichtsfeldes auf der Netzhaut gleich  $r$ , so ist

$$\frac{v}{y} = \frac{u}{p}.$$

Da man bei so kleinen Linsen recht gut die Apertur gleich der halben Brennweite machen kann, also  $u = \frac{1}{2} p$ , so wird alsdann

$$v = \frac{1}{2} y = 7\frac{1}{2} \text{ mm.}$$

Man übersieht also in diesem Falle ein größeres Gesichtsfeld, als es ohne künstliche Erweiterung der Pupille durch Atropin bei der Beobachtung mit Concavgläsern möglich ist. 180

## VII

### Beleuchtungsapparate der Augenspiegel.

Nach den drei oben angeführten Methoden kann die Beleuchtung direct mit einem Lichte geschehen, oder mit einem durchbohrten undurchsichtigen Spiegel, oder mit unbelegten, also durchsichtigen Glasplatten als Spiegel.

Beleuchtung ohne allen Spiegel läßt sich nur für das umgekehrte Bild der Netzhaut anwenden, erfordert eine beträchtliche Geschicklichkeit, und wäre etwa nur da zu empfehlen, wo gerade kein anderes Instrument als eine einfache Convexlinse von kurzer Brennweite zur Hand ist. Die Ausführung der Beobachtung ist folgende. Der Beobachter sieht dicht neben einem Lichte vorbei und, durch einen Schirm gegen dessen directe Strahlen geschützt, wie es in *Fig. 104* abgebildet ist, nach dem beobachteten Auge hin, und bringt eine Convexlinse von 2 bis 4 Zoll Brennweite vor dieses Auge, wie in *Fig. 110*. Um die richtige Stellung zu finden, bringt man diese Linse zuerst ganz dicht vor das beobachtete Auge. und entfernt sie allmählig so weit, bis man die Pupille so stark vergrößert erblickt, daß ihre Ränder hinter denen der Linse verschwinden. Man erblickt dann ein umgekehrtes reelles Bild der Netzhaut bei *d* *Fig. 110*. Um die Helligkeit dieses Bildes zu bestimmen, verfolgen wir nach den Vorschriften von Nr. V dieses Paragraphen das Strahlenbündel, welches vom Netzhautpunkte  $\alpha$  ausgeht; es wird von den brechenden





Zerstreuungsbild auch, wie wir in VI gezeigt haben, dem Gesichtsfelde des Beobachters entspricht. Dies Zerstreuungsbild wird in allen Theilen sein Maximum der Helligkeit haben, wenn von jedem Theil der Linse  $C$  Licht auf jeden Theil der Pupille fällt. Diese Bedingung wird erfüllt sein, wenn die Pupille des beobachteten Auges gleich oder kleiner als das Bild ist, welches die Linse  $C$  in der Nähe der Pupille von dem Spiegel  $S'S$  (oder der Linse  $L$ ) entwirft, und von jedem Punkte dieses Spiegels, mit notwendiger Ausnahme der mittleren Durchbohrung, Licht auf jeden Theil der Linse  $C$  fällt. Das Letztere wird aber wiederum geschehen, wenn die Linse  $C$  an dem Orte steht, wo der Spiegel das Bild der Lampenflamme  $D$  entwirft, und die Linse gleich oder kleiner als dieses Bild ist.

Um ein Beispiel solcher Construction zu geben, wollen wir annehmen, man verlange von dem Augenspiegel eine viermalige Vergrößerung und gebe dem entsprechend der Linse  $C$  eine Brennweite von 60 mm und eine Apertur von 30 mm. Der Spiegel, welcher ein durchbohrter Concavspiegel ohne Linse sein möge, muß soweit von dem Orte des Bildes  $d$  entfernt sein, daß der Beobachter sein Auge für das Bild accommodiren kann, also etwa 150 mm. Dann steht der Spiegel  $S$  von der Linse  $C$  210 mm ab. Nach der Gleichung § 9 Nr. 14 b) wird sein von der Linse entworfenen Bild  $= \frac{210}{60} = \frac{7}{2}$  seiner eigenen Größe sein. Da nun sein Bild der Pupille des beobachteten Auges gleich sein soll, und diese bei künstlicher Erweiterung bis auf 10 mm Durchmesser kommen kann, so brauchen wir dem Spiegel nur 25 mm Durchmesser zu geben.

Die Brennweite, welche wir dem Spiegel geben müssen, bestimmt sich nun durch die Bedingung, daß er ein Bild der Lampenflamme entwerfen muß, welches die Linse  $C$  deckt. Die Flamme größerer ARGAND'scher Brenner hat etwa 15 mm Durchmesser. Setzen wir in § 9 Gleichung 14 b) für  $\beta_1$  den Durchmesser der Linse  $C$  30 mm, für  $\beta_2$  den Durchmesser der Lampenflamme 15 mm, für  $f_1$  die Entfernung  $CS$  gleich 210 mm, so wird die Brennweite des Spiegels gefunden gleich 70 mm, und die Lampenflamme muß 105 mm vom Spiegel entfernt sein.

Wenn man nicht einen Concavspiegel, sondern einen ebenen Spiegel und eine convexe Glaslinse wie in Fig. 111 anwenden will, muß man statt der Entfernung des Spiegels von der Linse  $C$  in der Rechnung die Summe der Entfernungen der beiden Linsen  $L$  und  $C$  von der Mitte des Spiegels nehmen.

Wenn der Beobachter den Spiegel und die Linse frei in der Hand hält, wird es natürlich nicht möglich sein, die Entfernungen dieser Theile, die der Rechnung zu Grunde gelegt sind, genau einzuhalten, und man wird auch bei ziemlich großen Abweichungen davon noch gute Bilder erhalten; dennoch ist es aber wohl für den Beobachter vorthellhaft, die besten Bedingungen für die Haltung seines Instruments zu kennen.

Wenn mit einem durchbohrten Spiegel und einem Concavglase beobachtet werden soll, sind die Verhältnisse ungünstiger. In Fig. 113 ist wieder  $A$  das beobachtete,  $B$  das beobachtende Auge,  $S$  der Spiegel. Soll der Netzhautpunkt  $a$  beobachtet werden, so muß ein Theil des von ihm ausgehenden Strahlenkegels in das Auge des Beobachters fallen; wir wollen diesen Theil  $\alpha$  nennen; ein anderer Theil  $(1-\alpha)$  von dem Spiegel nach dem Lichte reflectirt werden. Ist also  $H$  die normale Helligkeit der Netzhautstelle  $a$ , so wird unter diesen Umständen nach Nr. V dieses Paragraphen  $H \cdot (1-\alpha)$  ihre wirkliche Helligkeit sein. Es sei wie früher  $J$  der Flächeninhalt der scheinbaren Pupille des beobachteten Auges  $A$ ,  $R$  ebenderselbe von  $B$ ,  $g$  die Entfernung

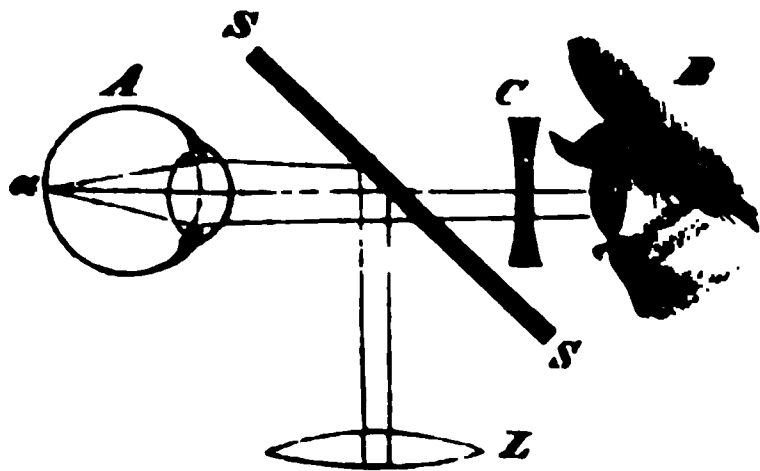


Fig. 112.



Diese Bedingung wird bei normalen Augen in der Regel erfüllt sein, da die Pupille  $J$  des von einer grossen Lichtmenge getroffenen Auges  $A$  in der Regel enger sein wird als die Pupille  $R$  des Beobachters. Nur bei der künstlichen Erweiterung der Pupille  $J$  durch Atropin wird es nicht der Fall sein, und dann wird die scheinbare Helligkeit einfach gleich  $\frac{1}{4}H$ . Im letzteren Falle ist die Beobachtung mit einem durchbohrten Spiegel vortheilhafter, denn dort gilt der gegebene Ausdruck für die Helligkeit, so lange

$$R < \alpha \cdot \frac{J \cdot (h-g)^2}{h^2} \text{ und}$$

$$\alpha = \frac{1}{2}.$$

Wenn man normale Augen ohne Anwendung von Atropin untersucht, so würde man mittels beider Arten der Beleuchtung dieselbe Helligkeit erhalten können, wenn die Pupillen unbeweglich wären. Der belegte Spiegel wirft aber im Ganzen mehr Licht in das beobachtete Auge, blendet es stärker, und die Pupille verengt sich mehr, so daß unter diesen Umständen der unbelegte Spiegel ein größeres Gesichtsfeld und eine größere Helligkeit geben kann. Ausserdem beleuchtet er die gesehene Netzhautfläche gleichmässig, während beim durchbohrten Spiegel das Zerstreuungsbild der Durchbohrung die Beleuchtung ungleichmässig macht. Endlich ist der Hornhautreflex bei dem unbelegten Spiegel weniger störend, weil das vom Spiegel reflectirte Licht mehr oder weniger polarisirt ist, und von der Hornhaut ohne Änderung seiner Polarisation zurückgeworfen nur zu einem sehr kleinen Theil durch die Platten zurückgeht,

Damit der unbelegte Spiegel die Hälfte des auffallenden Lichts zurückwerfe, kann man ihn entweder aus einer Glasplatte bestehen lassen, oder aus mehreren übereinandergelegten, muß aber den Einfallswinkel der reflectirten Lichtstrahlen dann passend wählen. Der passende Einfallswinkel für

eine Platte ist  $70^\circ$

drei Platten „  $60^\circ$

vier Platten „  $56^\circ$ .

#### Formen der Augenspiegel..

1) Augenspiegel von HELMHOLTZ<sup>1</sup>, mit reflectirenden Glasplatten und Concavlinen. Es ist dieser Augenspiegel auf *Fig. 113* im Querschnitt und natürlicher Grösse, und in *Fig. 114* von vorn gesehen in halber Grösse dargestellt, mit einer Modification der ursprünglichen Form, welche von dem Mechaniker REKOS angebracht ist, nämlich mit zwei beweglichen Scheiben, welche die nöthigen Concavlinen enthalten. Die drei reflectirenden Glasplatten sind mit  $aa$  bezeichnet, sie bilden die nach vorn gekehrte Hypotenusenfläche eines prismatischen Kastens, dessen Grundfläche ein rechtwinkeliges Dreieck ist, wie man im Querschnitte *Fig. 113* sieht. Die übrigen Flächen des Prismas sind aus Metallplatten gebildet und, um das Licht möglichst vollständig zu absorbiren, innen mit schwarzem Sammet ausgelegt. Die kleinere Kathetenfläche des Prismas ist an dem Gestell des Augenspiegels so befestigt, daß sie sich um die optische Axe des Instruments drehen kann, und hat dieser Axe entsprechend eine Öffnung. Die Glasplatten werden durch einen rechtwinkligen Rahmen an dem prismatischen Kasten zurückgehalten; der Rahmen selbst ist durch zwei Schrauben  $cc$  an die dreiseitigen Grundflächen des Prismas befestigt. Die Glasplatten bilden einen Winkel von  $56^\circ$  mit der optischen Axe des Instruments.

<sup>1</sup> H. HELMHOLTZ. Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge. Berlin 1852.













Umständen leicht gesehen wird. Eine sehr allgemein verbreitete alte Meinung war es, daß die sogenannten leuchtenden Thieraugen Licht entwickeln sollten, namentlich wenn die Thiere gereizt würden, daher man denn geneigt war, diese angeblich vorhandene Lichtentwicklung dem Einflusse des Nervensystems zuzuschreiben. Man sieht das Leuchten der Thieraugen in dunklen Räumen am auffallendsten, wenn Licht von der Rückseite des Beobachters dicht neben seinem Kopfe vorbei in das Auge des Thieres fällt, und eben deshalb konnte den Beobachtern oft das wirklich einfallende Licht verborgen bleiben. Ebenso sollten die pigmentlosen Augen weißer Kaninchen und albinotischer Menschen durch eigene Lichtentwicklung leuchten. PREVOST<sup>1</sup> zeigte zuerst, daß das sogenannte Leuchten der Thieraugen niemals in vollkommener Dunkelheit und weder willkürlich noch durch Affecte hervorgebracht wird, sondern stets nur durch Reflexion von einfallendem Lichte entstehen kann. GRUTHUISEN<sup>2</sup> hat unabhängig hiervon dasselbe gefunden; er weist nach, daß das Tapetum daran Schuld sei, verbunden mit einer „außerordentlichen Brechung“ der Linse. Auch in den Augen todter Thiere sah er das Leuchten. Diese Thatsachen bestätigten RUDOLPHI<sup>3</sup>, J. MÜLLER<sup>4</sup>, ESSER<sup>5</sup>, TIEDEMANN<sup>6</sup>, HASSENSTEIN<sup>7</sup>. RUDOLPHI macht darauf aufmerksam, daß man in einer bestimmten Richtung in das Auge sehen müsse, um das Leuchten wahrzunehmen. ESSER erklärt richtig den Wechsel der Farbe daraus, daß verschiedene gefärbte Theile der Netzhaut durch die Pupille erblickt würden, HASSENSTEIN endlich findet, daß das Leuchten hervortritt, wenn die Augen in Richtung ihrer Axe comprimirt werden, und vermuthete, daß auch beim lebende Thiere das Leuchten willkürlich erregt werde, indem durch den Druck der Muskeln die Augenaxe verkürzt werde. Man erkannte also das Leuchten als ein Reflexphänomen an, ohne sich aber klar zu machen, von welchen Bedingungen das Leuchten oder Nichtleuchten abhinge.

An menschlichen Augen war das Leuchten früher nur bei seltenen Krankheitszuständen beobachtet worden, namentlich bei Geschwülsten im Hintergrunde des Auges. Auch bei Mangel der Iris hat BEHR<sup>8</sup> es gesehen und gefunden, daß die Augen des Beobachters fast ganz parallel mit den einfallenden Strahlen nach den Augen der Kranken blicken mußten, welches die Grundbedingung von BRÜCKES Methode, das Augenleuchten zu beobachten, ist. Das Leuchten ist in solchen Fällen von Irismangel auffallender, weil die Beleuchtung der Netzhaut viel stärker ist; außerdem fehlt die Accommodationsfähigkeit des Auges.

Endlich fanden W. CUMMING<sup>9</sup> und BRÜCKE<sup>10</sup> unabhängig von einander das Verfahren, gesunde menschliche Augen leuchtend erscheinen zu machen, indem der Beobachter den einfallenden Lichtstrahlen nahe parallel hineinblickt. Letzterer hat dieselbe Methode schon vorher auf die mit einem Tapetum versehenen Thieraugen angewendet. Endlich erwähnt WHARTON JONES<sup>11</sup>, das BABBAGE ungefähr zu derselben Zeit ihm einen belegten Glaspiegel gezeigt habe, von dessen Belegung eine kleine Stelle weggenommen war, um Licht in das Auge zu werfen und durch die Öffnung hineinzusehen. Dies erinnert schon sehr an den Augenspiegel von COCCIVS; aber da BABBAGE keine Linsen mit seinem Spiegel verbunden zu haben scheint, so hat er höchstens ausnahmsweise von den Theilen der Netzhaut etwas erkennen können, und hat deshalb wohl seine Erfindung damals nicht veröffentlicht.

<sup>1</sup> PREVOST, *Biblioth. britannique*. 1810. T. 45.

<sup>2</sup> F. GRUTHUISEN, *Beiträge zur Physiognosie und Kautognosie*. S. 199.

<sup>3</sup> RUDOLPHI, *Lehrbuch der Physiologie*. I. 197.

<sup>4</sup> J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie d. Gesichtsinns*. Leipzig 1826. S. 49. — *Handbuch der Physiologie*. 4 Aufl. I. 89.

<sup>5</sup> ESSER, *Kastners Archiv für die gesammte Naturlehre*. Bd. VIII. S. 390.

<sup>6</sup> F. TIEDEMANN, *Lehrbuch der Physiologie*. S. 509.

<sup>7</sup> HASSENSTEIN, *De luce ex quorundam animalium oculis prodeunte atque de tapeto lucido*. Jenae 1836.

<sup>8</sup> BEHR, *Heckers Annalen*. 1839. I. S. 373.

<sup>9</sup> W. GUMMING, *Medico-chirurgical Transactions*. XXIX p. 284.

<sup>10</sup> E. BRÜCKE, *J. Müllers Archiv für Anat. u. Physiologie*. 1847. S. 225.

<sup>11</sup> WHARTON JONES, *Archives générales de Médecine*. 1854. II.



## **Zweiter Abschnitt.**

### **Die Lehre von den Gesichtsempfindungen.**

#### **§ 17. Von der Reizung des Sehnervenapparates.**

Die Nervenapparate des menschlichen und thierischen Körpers werden <sup>191</sup> durch Einwirkung äußerer Agentien verschiedener Art in einen veränderten Zustand versetzt, den man einerseits an ihnen durch physikalische Hilfsmittel, nämlich durch die Untersuchung ihrer elektromotorischen Wirksamkeit erkennen kann, und der sich andererseits durch Wirkungen zu erkennen giebt, welche die Nerven in anderen mit ihnen organisch verbundenen Theilen des Körpers hervorbringen. So verräth sich dieser veränderte Zustand einiger Nerven durch Zusammenziehungen der mit ihnen verbundenen Muskeln; diese werden motorische Nerven genannt. Andere erregen unter denselben Umständen Empfindungen in dem Gehirne, als dem körperlichen Organe des Bewusstseins, und heißen deshalb sensible Nerven. Bei den motorischen Nerven ist nun der auffälligste Erfolg der verschiedenartigsten <sup>192</sup> äußeren Einwirkungen, des Zerrens, Quetschens, Zerschneidens, des Brennens, Anätzens, der elektrischen Durchströmungen, immer die Zusammenziehung des zugehörigen Muskels, welche nur quantitative Unterschiede der Stärke zeigt. Man faßt deshalb die genannten verschiedenartigen Einwirkungen in ihrem Verhältnisse zu den motorischen Nerven unter einen Namen, den der Reize, zusammen, indem man von ihren qualitativen Verschiedenheiten abstrahirt und sie nur nach der verschiedenen Stärke der Zuckungen, welche sie hervorbringen, quantitativ als stärker oder schwächer reizend von einander unterscheidet. Den veränderten Zustand im Nerven selbst, welcher in Folge der Einwirkung eines Reizes eintritt, nennt man die Reizung, und die Fähigkeit des Nerven, nach Einwirkung von Reizen Muskelzuckungen hervorzubringen, die Reizbarkeit. Diese Fähigkeit kann durch Absterben und mancherlei äußere Einwirkungen beeinträchtigt werden.



Empfindungen, die dem Gesichtssinne angehören, nach Lichtintensität und Farbe vergleichen, aber keine von ihnen mit einer Tonempfindung oder Geruchsempfindung.

Die physiologische Erfahrung hat, soweit Prüfung möglich war, gefunden, daß durch Reizung jeder einzelnen sensiblen Nervenfasern nur solche Empfindungen entstehen können, welche dem Qualitätskreise eines einzigen bestimmten Sinnes angehören, und daß jeder Reiz, welcher diese Nervenfasern überhaupt zu erregen vermag, nur Empfindungen dieses besonderen Kreises hervorruft. Vollständig experimentell beweisen läßt sich der Satz nur für solche Nervenfasern, die in besonderen Nervenstämmen, getrennt von allen Fasern, die anderen Sinnen angehören, zusammenliegen, wie die des Gesichtssinnes im *Nervus opticus*, die des Gehörs im *Nervus acusticus*, die des Geruchs im *Nervus olfactorius*, die des Tastsinns in den hinteren Rückenmarkswurzeln. Läßt man auf diese Nervenstämme verschiedene Reizmittel einwirken, so entstehen zwar verschiedene Empfindungen, aber nur Empfindungen, die dem Qualitätskreise des betreffenden Sinnes angehören. Für solche sensible Nervenfasern dagegen, die mit Fasern anderer Art in demselben Stamme verlaufen, wie die Geschmacksnerven mit Tastnerven der Zunge im *Nervus glossopharyngeus* und *lingualis* vereinigt sind, läßt sich dasselbe Verhältniß wenigstens daraus wahrscheinlich machen, daß in Krankheitszuständen zuweilen isolirt Lähmung der Geschmacksempfindungen allein ohne Lähmung der Tastempfindungen oder umgekehrt vorkommt, und auch daraus, daß alle anderen Tastnerven der Fähigkeit, Geschmacksempfindungen zu vermitteln, ermangeln.

Dem Kreise des Gesichtssinns gehören die Lichtempfindungen an, welche alle unter sich in Bezug auf Lichtstärke und Farbe vergleichbar sind. Denjenigen Theil der Nervenmasse des Körpers, durch dessen Reizung dergleichen Empfindungen entstehen können, nennen wir nach J. MÜLLER die Sehsinns-substanz, oder auch wohl den Sehnervenapparat. Dazu gehört die Netzhaut, der Sehnerv und ein begrenzter Theil des Gehirns, in welchen die Wurzelfaserungen des Sehnerven eintreten. Kein anderer Nervenapparat des Körpers kann Lichtempfindung, d. h. eine Empfindung von derselben Qualität wie der Sehnervenapparat vermitteln, obgleich die leuchtenden Ätherschwingungen auch durch die Tastnerven wahrgenommen werden können, aber freilich in einer ganz anderen Empfindungsqualität, nämlich als Empfindung strahlender Wärme. Es findet hier dasselbe statt, wie bei den Luftschwingungen, welche der Hörnerv als Ton empfindet, während sie gleichzeitig in der Haut die Tastempfindung des Schwirrens erregen, dasselbe wie bei dem Essig, den die Zunge als sauer schmeckt, und der in einer entblößten Hautstelle oder auf einer zarten Schleimhaut, wie die Bindehaut des Auges ist, durch eine Tastempfindung, nämlich durch schmerzhaftes Brennen, sich bemerklich macht. 194





















sie sich dann an die Stelle der wirklichen Objecte stellen. Dabei bemerkt PURKINJE, daß jede unvernuthete Berührung, jede unsichere Bewegung momentane Oscillationen des Auges hervorruft, die von zarten Lichtwölkchen und anderen Lichtgebilden begleitet sind, welche Veranlassung zu manchen Gespenstergeschichten gegeben haben mögen. AUBERT<sup>1</sup> erwähnt plötzlich auftretende sehr helle Punkte des Sehfeldes, und helle, langsam bewegte Zickzacklinien.

Nach körperlicher Anstrengung und Erhitzung sah PURKINJE<sup>2</sup> im dunkeln Gesichtsfelde ein mattes Licht wallen und flackern, wie die auf einer horizontalen Fläche verlöschende Flamme von ausgegossenem Weingeiste. Bei schärferer Betrachtung sah er darin unzählige, äußerst kleine lichte Pünktchen, die sich lebhaft durch einander bewegen, und lichte Spuren ihrer Bewegung hinter sich lassen. Eine ähnliche Erscheinung trat ein, wenn er bei geschlossenem rechten Auge das schwache linke zum Sehen anstrengte.

Wichtig ist noch die Erfahrung, daß auch bei Leuten, deren Auge durch Operation entfernt, oder deren Sehnerven und Augen desorganisirt und functionsunfähig geworden waren, subjective Lichterscheinungen vorgekommen sind<sup>3</sup>. Aus diesen Erfahrungen geht hervor, daß nicht bloß die Netzhaut, sondern auch der Stamm oder die Wurzeln des Sehnerven im Gehirn fähig sind in Folge von Reizungen Lichtempfindung zu erzeugen.

Endlich sind die elektrischen Ströme ein mächtiges Mittel, den Sehnervenapparat, wie die übrigen Nerven zu erregen. Während in der Regel die motorischen Nerven nur in den Augenblicken Zuckung bewirken, wo die Stärke des sie durchfließenden elektrischen Stromes einer schnellen Steigerung oder Abnahme ausgesetzt ist, werden in den Sinnesnerven nicht nur durch Stromesschwankungen, sondern auch durch einen Strom von gleichmäßig anhaltender Stärke Empfindungen hervorgerufen, deren Qualität im letzteren Falle von der Stromesrichtung abhängt.

Wenn der Sehnerv durch Stromesschwankungen gereizt wird, entstehen starke Lichtblitze, die das ganze Gesichtsfeld überziehen. Man kann dieselben sowohl durch Entladungen von Leydener Flaschen als von galvanischen Säulen erzielen, wenn man die Elektrizität so durch den Körper leitet, daß hinreichend starke Zweige der Strömung durch den Sehnerven möglichst parallel seinen Fasern gehen. Man legt also zweckmäßig den einen Zuleiter an die Stirn oder auf die geschlossenen Augenlider, den anderen in den Nacken, oder wenn man bei hinreichend kräftigen Apparaten einen großen Widerstand nicht zu scheuen hat, nimmt man ihn in die Hand. Um den Schmerz in der Haut zu mildern, ist es vortheilhaft, die Zuleiter, welche die Form von Platten oder Cylindern haben können, mit nassen

<sup>1</sup> H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut*. S. 334.

<sup>2</sup> J. H. PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche u. s. w.* I. 63, 134. II. 115.

<sup>3</sup> Beispiele bei J. MÜLLER, *Phantastische Gesichtsercheinungen*. S. 30. — A. v. HUMBOLDT, *Geistige Natur- und Nervenlehre*. Th. II. S. 444. — LINCKE, *de fungo medullari*. Lips. 1834.

Pappscheiben zu bedecken und die zu berührende Hautstelle einige Zeit vorher schon anzufeuchten. Mit den Schlägen von Leydener Flaschen sind bisher wenig hierher gehörige Versuche angestellt worden, auch ist große Vorsicht wegen der Nähe des Gehirns nothwendig, da FRANKLIN und WILCKE<sup>1</sup> beobachtet haben, daß durch den Kopf geleitete Schläge ein bewußtloses Zusammenstürzen zur Folge haben können. LE ROY<sup>2</sup> ließ den Entladungsschlag auf einen am Staar erblindeten jungen Mann wirken, indem er dessen Kopf und rechtes Bein mit einem Messingdrahte umwand und durch die Enden der Drähte eine Leydener Flasche entlud. Bei jeder Entladung glaubte der Patient eine Flamme sehr schnell von oben nach unten vorbeigehen zu sehen, und hörte einen Knall wie von grobem Geschütze. Wenn LE ROY den Schlag durch den Kopf des Blinden allein leitete, indem er über den Augen und am Hinterkopfe Metallplatten befestigte, die mit den Belegungen einer Flasche verbunden wurden, so sah der Kranke Phantasmen, einzelne Personen, in Reihe gestellte Volkshaufen u. s. w.

Reicher sind die Erfahrungen über die Wirkungen der galvanischen Ströme. Will man nur die Lichtblitze wahrnehmen, die durch Schließung oder Unterbrechung des Stromes entstehen, so genügen schon wenige Zinkkupferelemente, bei reizbaren Augen sogar schon ein einfaches Plattenpaar. Wenn z. B. ein Stück Zink an die befeuchteten Lider des einen, Silber an die des anderen Auges gelegt wird, und man die beiden Metalle in Berührung bringt, so erscheint im Momente der Berührung und dann wieder im Momente der Trennung ein Blitz. Belehrender ist der Versuch, wenn man das eine Metall an ein Auge legt, das andere in den Mund nimmt, weil dabei zugleich die Abhängigkeit der Stärke des Blitzes von der Stromrichtung erkannt werden kann. Der Blitz bei Schließung der Kette ist nach den Beobachtungen von PFAFF stärker, wenn man das positive Metall (Zink) an  
 204 das Auge, das negative (Silber) in den Mund bringt, wobei also der Sehnerv von der positiven Elektrizität in aufsteigender Richtung durchflossen wird. Ich bemerke hierbei, daß mir selbst die Versuche mit der einfachen Kette, wahrscheinlich wegen zu geringer Reizbarkeit meines Auges, nie gelungen sind. Dagegen sind die Lichtblitze sehr glänzend, wenn man eine kleine galvanische Säule von etwa zwölf Elementen benutzt. Wählt man eine Batterie von constanter Stromstärke, z. B. von DANIELL'schen Elementen, so findet man, daß der Schließungsblitz bei aufsteigender Stromesrichtung, der Öffnungsblitz bei absteigender stärker ist. Ähnliche Unterschiede der Wirkung je nach der Richtung des Stroms sind auch für die Muskelnerven bekannt, sie sind dort aber auch von der Stärke des angewendeten Stroms abhängig.

Um die dauernde Wirkung eines gleichmäßig anhaltenden Stroms wahrzunehmen, brauchen wohl die meisten Augen eine kleine Säule, obgleich RITTER auch diese mit der einfachen Kette wahrgenommen hat.

<sup>1</sup> B. FRANKLIN, *Briefe über Elektrizität*. Leipzig 1785. S. 312.

<sup>2</sup> LE ROY, *Mém. de mathém. de l'Acad. de France*. 1785. p. 86—92.



Um die Blendung des Auges durch Lichtblitze und das unangenehme Muskelzucken bei Öffnung und Schließung des Stroms zu vermeiden, finde ich es vortheilhaft, am Rande des Tisches, neben welchen sich der Experimentirende hinsetzt, zwei mit Pappe, die mit Salzwasser getränkt ist, unwickelte Metallcylinder hinzulegen, die mit den beiden Polen einer DANIELL'schen Batterie von 12 bis 24 Elementen verbunden sind. Man stützt zuerst die Stirne fest auf einen der Cylinder und berührt dann mit der Hand den anderen, wobei man durch langsames Anlegen der Hand erreichen kann, daß die Wirkungen der Stromesschwankung sehr gering sind, dann nach Belieben wieder öffnen oder schliessen kann. Die Stromesrichtung läßt sich wechseln, indem man die Stirn bald auf den einen, bald auf den anderen Cylinder legt. Das Auge ist hierbei auch keinem Drucke ausgesetzt, worauf wohl zu achten ist.

Wenn ein schwacher aufsteigender Strom durch den Sehnerven geleitet wird, wird das dunkle Gesichtsfeld der geschlossenen Augen heller als vorher und nimmt eine weißlich violette Farbe an. In dem erhellten Felde erscheint in den ersten Augenblicken die Eintrittsstelle des Sehnerven als eine dunkle Kreisscheibe. Die Erhellung nimmt schnell an Intensität ab, und verschwindet ganz bei der Unterbrechung des Stroms, die man bei langsamer Lösung der Hand von dem zweiten Cylinder ohne Lichtblitz ausführen kann. Dafür tritt nun, im Gegensatz zu dem vorausgegangenen Blau, mit der Verdunkelung des Gesichtsfeldes auch eine röthlich gelbe Färbung des Eigenlichts der Netzhaut ein,

Bei der Schließung der entgegengesetzten, absteigenden Stromesrichtung tritt der auffallende Erfolg ein, daß das nur mit dem Eigenlicht der Netzhaut gefüllte Gesichtsfeld im Allgemeinen dunkler wird als vorher, und sich etwas röthlich gelb färbt; nur die Eintrittsstelle des Sehnerven zeichnet sich als eine helle blaue Kreisscheibe auf dem dunkeln Grunde ab, von welcher Scheibe häufig auch nur die der Mitte des Gesichtsfeldes zugekehrte Hälfte erscheint. Bei Unterbrechung dieser Stromesrichtung wird das Gesichtsfeld wieder heller und zwar bläulichweiß beleuchtet und der Sehnerveneintritt erscheint dunkel.

AUBERT<sup>1</sup> sieht bei aufsteigendem Strome und nach Unterbrechung des absteigenden Stroms die Eintrittsstellen der Sehnerven als gelbe, helle Ringe, in der Mitte aber dunkel; bei absteigendem Strome und nach Unterbrechung des aufsteigenden bezeichnet er die Farbe des dunkleren Feldes als grünlich; die Sehnerven erscheinen als gelbe Scheiben.

Bewegungen des Auges bringen nach demselben Beobachter an der Peripherie des Sehfeldes große blitzartige Helligkeit (wohl wegen der Stromesschwankungen) hervor.

Bei stärkeren Strömen von 100 bis 200 Zink-Kupferplatten hat RITTER 205 eine Umkehr der Färbung gesehen, während die Vermehrung oder Verminderung der Helligkeit dieselbe blieb, wie bei schwachen Strömen. Starke aufsteigende Ströme erregten ihm also die Empfindung von lichtstarkem

<sup>1</sup> H. AUBERT, *Physiol. der Netzhaut*. S. 345.



aussen nach innen durchflossene Hälfte der Netzhaut Dunkel empfindet, die von innen nach aussen durchflossene dagegen Helligkeit. Zu beachten ist, daß diese Empfindungen vom Beobachter immer in die gegenüberliegende Hälfte des Gesichtsfeldes verlegt werden, als wäre diese elektrische Helligkeit von aussen kommendes Licht.

Unter dieselbe Regel fallen auch die Erscheinungen, welche man beobachtet, wenn man die Elektrode vorn auf die von den Lidern bedeckte Hornhaut setzt. Dann giebt eine positive Elektrode Strom von innen nach aussen durch die ganze Netzhaut, und diese sieht hell.

Die Eintrittsstelle des Sehnerven zeigt bei mir immer den entgegengesetzten Zustand des Feldes, in dem sie liegt. Ihre starke Sehnenscheide könnte als schlecht leitende Masse in Betracht kommen, und bewirken, daß die dicht davor liegenden Nerven Elemente, die das Mark des eintretenden Nerven unmittelbar umgeben, vor der Durchströmung verhältnissmässig geschützt sind. Deren Zustand aber pflegen wir (s. unten § 28) auf die ganze Ausdehnung des Sehnervenquerschnitts zu übertragen.

Wenn man nun, während das Auge von der Seite her durchströmt wird, den Blick unter den geschlossenen Lidern gegen die Grenze des hellen und dunkeln Feldes richtet, so erscheinen rechts und links neben dem Fixationspunkte zwei querovale Felder, von denen das in die helle Hälfte des Sehfeldes hineinragende dunkel, das in die dunkle hineinragende hell erscheint. Ihrer Grösse nach erscheinen sie der Ausdehnung des gelben Flecks zu entsprechen. An dieser Stelle verlaufen die Faserzüge der Netzhaut von den Zapfen aus radial divergirend gegen die dazu gehörigen Ganglienzellen, und es werden die elektrischen Ströme bei der angegebenen Richtung des Blicks im gelben Fleck parallel der Fläche der Netzhaut fliessen müssen.

Tritt nun positive Elektrizität auf der Schläfenseite in das Auge ein, so ist der peripherische Theil der Netzhaut von aussen nach innen, d. h. von den Zapfen zu den Ganglienzellen durchströmt, und sieht dunkel. Die nach der Schläfenseite gerichteten Faserzüge des gelben Flecks aber werden von den Ganglienzellen zu den Zapfen hin durchströmt, und sehen hell. In diesem Sinne kann man die beobachteten Erscheinungen zusammenbegreifen in die Regel: Elektrische constante Durchströmung der Netzhaut in der Richtung von den Zapfen zu den zugehörigen Ganglienzellen giebt die Empfindung von Dunkel; die entgegengesetzte Durchströmung giebt die Empfindung von Hell.

Es zeigen nun auch die Muskelnerven des thierischen Körpers ausser den schon erwähnten Erscheinungen der Reizung durch Stromesschwankungen einen Einfluß der constanten Ströme auf die Reizempfänglichkeit. Durch schwache Ströme, wie diejenigen immer sind, die bei den beschriebenen Versuchen die Netzhaut treffen, wird nach den von PFLÜGER<sup>1</sup> aufgestellten Gesetzen die Reizbarkeit des Nerven an der Strecke gesteigert, wo die

---

<sup>1</sup> W. PFLÜGER, *Untersuchungen über die Physiologie des Elektrotonus*. Berlin 1859.













punkt  $a$ , dargestellt.  $AB$  ist der dritte Theil der zugehörigen Entfernung des Auges von der Papierfläche. Man sieht, daß die Gestalt des Fleckes eine unregelmäßige Ellipse ist, an der ich selbst, wie HUECK, die Anfänge von den stärkeren Gefäßstämmen erkennen kann, welche austreten. Wenn man einen kleinen schwarzen Fleck auf das Papier macht, und nach einander verschiedene Gesichtspunkte fixirt, so findet man noch, daß die Fortsetzungen der Gefäße weit in das Feld der Netzhaut hinein blinde Stellen sind. Am leichtesten gelingt dies, wenn man nach COCCIUS sich die Richtung der Gefäßstämmen im eigenen Auge schon aufgesucht hat.

Bezeichnen wir die Entfernung des Auges vom Papier mit  $f$ , die Entfernung des zweiten Knotenpunkts von der Netzhaut, welche im Mittel 15 mm beträgt, mit  $F$ , den Durchmesser des blinden Flecks in unserer Zeichnung, oder irgend eine andere lineare GröÙe in der Zeichnung mit  $d$ , die entsprechende GröÙe auf der Netzhaut mit  $D$ , so haben wir

$$\frac{f}{F} = \frac{d}{D},$$

woraus wir  $D$  berechnen können. Will man sich bei einer solchen Messung von der GröÙe  $F$ , welche für das individuelle Auge nie ganz genau bestimmt werden kann, unabhängig machen, so mißt man besser den Gesichtswinkel, d. h. den Winkel zwischen den Richtungslinien (siehe S. 69), welche den verschiedenen Punkten der Zeichnung entsprechen. Wenn wir voraussetzen dürfen, die auf den Punkt  $a$  der *Fig. 118* gerichtete Gesichtslinie sei senkrecht zur Ebene der Zeichnung und die Entfernung  $ad$  mit  $\beta$  bezeichnen, den Gesichtswinkel, unter dem  $ad$  erscheint, mit  $\alpha$ , so ist

$$\frac{\beta}{f} = \operatorname{tg} \alpha,$$

woraus  $\alpha$  berechnet werden kann; ebenso ist der Gesichtswinkel zwischen  $a$  und jedem anderen Punkte der Zeichnung zu finden. Folgendes sind die Resultate, welche verschiedene Beobachter in dieser Weise erhalten haben:

- 1) Scheinbarer Abstand des Gesichtspunktes von dem ihm nächsten Theile des Randes des blinden Flecks: LISTING<sup>1</sup> 12° 37',5; HELMHOLTZ 12° 25'; TH. YOUNG 12° 56'.
- 2) Scheinbarer Abstand des entferntesten Theils des Randes: LISTING 18° 33',4; HELMHOLTZ 18° 55'; TH. YOUNG 16° 1'.
- 3) Scheinbarer Durchmesser des blinden Flecks in horizontaler Richtung: HANNOVER und THOMSEN<sup>2</sup> bei 22 Augen 3° 39' bis 9° 47', Mittel aller Messungen 6° 10', LISTING 5° 55',9; GRIFFIN<sup>3</sup> im Maximo 7° 31'; HELMHOLTZ 6° 56'; TH. YOUNG, der nicht ganz zweckmäßig zwei Lichter gebraucht hatte, um die Grenze des Flecks zu finden, 3° 5'.
- 4) Wahrer Durchmesser des blinden Flecks, mit LISTINGS Werth für  $F' = 15$  mm berechnet, in LISTINGS Auge 1<sup>mm</sup>,55; HELMHOLTZ 1,81. HANNOVER und THOMSON im Mittel 1<sup>mm</sup>,116. Eine Messung von E. H. WEBER des Durchmessers der Eintrittsstelle des Sehnerven in den Augen zweier Leichen ergab

<sup>1</sup> J. LISTING, *Berichte der Königl. sächs. Ges. der Wiss.* 1852. S. 149. Ebenda die Beobachtungen von E. H. WEBER.

<sup>2</sup> A. HANNOVER, *Bidrag til Oietz Anatomie*. Kjöbenhavn. 1850. Cap. VI. S. 61.

<sup>3</sup> GRIFFIN, *Contributions to the physiology of vision*. London, Medical Gazette. 1838 Mai. p. 230.



Netzhaut sein muß, d. h. die Schicht der Zapfen und Stäbchen, oder die äussere Körnerschicht. Da an der Stelle des deutlichsten Sehens, in der centralen Grube des gelben Flecks nach allen neueren Beobachtungen nur Nervenzellen und Zapfen mit Zapfenkörnern vorkommen, so folgt sicher, daß die Zapfen verbunden mit den Zapfenkörnern genügen, um bei Lichteinwirkung Empfindung zu erregen. Bei der ganz analogen anatomischen Bildung der Stäbchen ist es höchst wahrscheinlich, daß auch diese die genannte Fähigkeit besitzen, wie schon H. MÜLLER und KOELLIKER ausgesprochen haben. Indessen müssen sie bei der Localisation der Empfindungen eine ganz andere Rolle spielen, da trotz ihrer grösseren Feinheit und Anzahl dort, wo sie überwiegend vorkommen, in den peripherischen Theilen der Netzhaut, das Unterscheidungsvermögen für nah benachbarte Eindrücke im Gegentheil unvollkommener ist als in der Netzhautgrube.

Da die Untersuchung über die Feinheit der Wahrnehmung von Ortsunterschieden beim Sehen wesentlich mit der Frage zusammenhängt, welche Elemente der Netzhaut lichtempfindlich sind, (das heisst hier immer: bei Lichteinwirkung Empfindung erregen) und wie sie mit den Nervenfasern zusammenhängen, so wenden wir uns zunächst dieser Frage zu.

Da diejenige Stelle der Netzhaut, welche der feinsten Ortsunterscheidung fähig ist, ein regelmässig gebildetes Mosaik von einander trennbarer Theile, der Zapfen, hat, von denen jeder einzelne mit einer Nervenfaser zusammenhängt, die zunächst zu den Nervenzellen der Netzhaut hinüberführt, so scheint die Annahme nicht unwahrscheinlich, daß jeder einzelne Zapfen seine eigene abgesonderte Nervenleitung zum Gehirn hat, und daß dem entsprechend die in ihm erregte Empfindung von qualitativ gleicher Empfindung in den benachbarten Zapfen unterschieden werden könne. Um diese Hypothese zu prüfen, wäre zu erörtern, wie sich in diesem Falle die Grösse der Zapfen verhalten muß, und welche Art von sichtbaren Objecten dabei die sichersten Schlüsse zulassen würden.

Das Licht, welches auf ein einziges empfindendes Element fällt, kann nur eine einzige Lichtempfindung hervorbringen, in der nicht mehr unterschieden wird, ob einzelne Theile des Elements stark, andere schwach erleuchtet sind. Es können lichte Punkte wahrgenommen werden, deren Netzhautbild sehr viel kleiner ist, als ein empfindendes Netzhautelement, vorausgesetzt, daß die Lichtmenge, die von ihnen in das Auge fällt, gross genug ist, ein Netzhautelement merklich zu afficiren. So werden z. B. die Fixsterne, als Objecte von grosser Lichtstärke, trotz ihrer verschwindend kleinen scheinbaren Grösse, vom Auge wahrgenommen. Ebenso können auch dunkle Objecte auf hellem Grunde wahrgenommen werden, obgleich ihre Bilder kleiner sind, als ein empfindendes Nervenelement, vorausgesetzt nur, daß die Lichtmenge, welche auf das Element fällt, durch das dahin treffende dunkle Bild um einen wahrnehmbaren Theil verringert wird. Kann das Auge z. B. bei der angewendeten Beleuchtungsstärke Unterschiede der Lichtintensität von  $\frac{1}{50}$  erkennen, so würde ein dunkles Bildchen, dessen Flächeninhalt  $\frac{1}{50}$  von

dem eines empfindenden Elements ist, noch wahrgenommen werden können. Dagegen ist es klar, daß zwei helle Punkte nur dann als zwei erkannt werden können, wenn der Abstand ihrer Bilder größer ist, als die Breite eines Netzhautelements. Wäre er kleiner, so würden beide Bilder immer auf dasselbe oder auf zwei benachbarte Elemente fallen müssen. Im ersteren Falle würden beide nur eine einzige Empfindung erregen, im zweiten Falle zwar zwei Empfindungen, aber in benachbarten Nervelementen, wobei nicht unterschieden werden könnte, ob zwei gesonderte Lichtpunkte, oder einer da ist, dessen Bild auf die Grenze beider Elemente fällt. Erst wenn der Abstand der beiden hellen Bilder, oder wenigstens ihrer Mitte von einander größer ist als die Breite eines empfindenden Elements, erst dann können die beiden Bilder auf zwei verschiedene Elemente fallen, die sich gegenseitig nicht berühren, und zwischen denen ein Element zurückbleibt, welches nicht oder wenigstens schwächer als die beiden ersten von Licht getroffen wird.

216 Nach den Angaben von Hooke<sup>1</sup> erscheinen zwei Sterne, deren scheinbare Entfernung weniger als 30 Secunden beträgt, stets wie ein Stern, und von Hunderten kann kaum einer die beiden Sterne unterscheiden, wenn ihre scheinbare Entfernung weniger als 60 Secunden beträgt. Die übrigen Beobachter, welche nicht an Sternen, sondern an weißen beleuchteten Strichen oder Vierecken ihre Beobachtungen angestellt haben, fanden eine etwas geringere Genauigkeit. Es wurden von dem besten, von E. H. WEBER untersuchten Auge zwei weiße Striche unterschieden, deren Mittellinien 73 Secunden von einander entfernt waren. Bei stärkerer Beleuchtung komme ich selbst unter möglichst günstigen Umständen bis 64 Secunden. In LISTING's schematischem Auge entspricht auf der Netzhaut

ein Gesichtswinkel von	einem Abstände von
73"	0,00526 mm
63"	0,00464 "
60"	0,00438 "

Nach KOELLIKER's Messungen beträgt die Dicke der Zapfen im gelben Flecke 0,0045 bis 0,0054 mm (siehe S. 38), was fast genau mit den vorigen Zahlen übereinstimmt, so daß auch durch diese Messungen die Annahme, daß die Zapfen die letzten empfindenden Elemente der Netzhaut bilden, bestätigt wird.

n Spätere Beobachter haben etwas kleinere Zahlen gefunden: M. SCHULTZ 0,0020 bis 0,0025, H. MÜLLER 0,0015 bis 0,0020, WELCKER 0,0031 bis 0,0036 mm.

216 Gleichzeitig ergibt sich, daß die optische Beschaffenheit eines gut gebauten und richtig accommodirten Auges vollkommen genügt, um den Grad von Genauigkeit, welchen die Größe der nervösen Elemente möglich macht, wirklich zu erreichen. Wir haben freilich (§ 13, S. 163) gefunden, daß

<sup>1</sup> R. SMITH, *A complete System of optics*, übers. v. KAESNER 8. 20.





Beobachter.	Object.	Größe des Objects.	Entfernung vom Auge.	Entfernung dividirt durch Größe des Objects.	Gesichtswinkel in Secunden.	*
1) HOOKE . . . . .	Fixsterne . . . . .	—	—	—	60	
2) TOB. MAYER . .	a) Parallele Linien mit gleichen Zwischenräumen . . . . . b) Eben solche mit breiteren und schmaleren Zwischenräumen . . . . .	0,72 Par. Lin.	11 Par. Fuß	2200	94	
3) Derselbe . . . . .	Weilse Quadrate durch ein schwarzes Gitter getrennt . . . . . Schachbrettmuster . . . . . Spinnwebfäden . . . . .	0,6 " " 0,88 " " 1,04 " " 0,0052 Par. Zoll	9½ 15½ 12 7 Par. Zoll	2275 2422 1661 1346	90 80 124 147,5	
4) Derselbe . . . . .	Dieselben . . . . .	—	13	2500	80,4	
5) VOLKMANN . . .	Dieselben . . . . .	—	—	—	—	
6) N. N. bei VOLK- MANN . . . . .	Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen . . . . .	0,05 Par. Lin.	110½ Par. Lin.	2210	90,6	
7) TH. WEBER bei E. H. WEBER . . .	Dieselben . . . . .	—	138	2760	73	
8) N. N. 1 bei dem- selben . . . . .	Dieselben . . . . .	—	110½	2210	90,6	
9) N. N. 2 bei dem- selben . . . . .	Stabgitter . . . . .	1,083 mm	3500 mm	3235	63,75	
10) HELMHOLTZ . .	Dasselbe . . . . .	—	2400	2215	93	
11) O. H. bei dem- selben . . . . .	Parallele Linien mit gleich breiten Zwischenräumen . . . . .	2 mm	5500 bis 8000	2750 4000 4125	75 51,6 50	
12) BERGMANN . .	Parallele Drabte . . . . .	—	—	—	—	
13) HIRSCHMANN .						





sein Auge vor blendendem Seitenlicht schützte, nach einem mit Buchstaben und Zahlen, die in gleichen Zwischenräumen von einander standen, bedruckten Bogen (2 Fufs breit, 5 Fufs lang) hin. Dieser war auf zwei horizontale Walzen aufgerollt, so dafs der vom Beobachter gesehene Theil nach jedem Versuch schnell gewechselt werden konnte. Da die aufgedruckten Buchstaben und Zahlen ferner ganz willkürlich durch einander gestellt waren, konnte der Beobachter auch nie andere Zahlen errathen, als die er wirklich gesehen hatte. Vor dem Bogen stand eine Leydener Flasche, welche sich von Zeit zu Zeit entlud, und dadurch den Bogen auf einen Moment erhellte, während es in den Zwischenzeiten so dunkel war, dafs der Beobachter eben nur den Ort der Buchstaben, aber nicht ihre Form erkennen konnte. Während ein Gehülfe den Bogen mit den Buchstaben beliebig stellte, gab der Beobachter nach jeder Richtung an, welche Buchstaben er erkannt hatte. Es wurden vier solche Bogen mit Ziffern und Buchstaben von verschiedener Gröfse gebraucht. Der Abstand des Beobachters von den Objecten konnte geändert werden.

Nennen wir mit AUBERT den doppelten Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Richtungslinie der äufsersten gesehenen Buchstaben, d. h. also den Gesichtswinkel des mit erkennbaren Zahlen besetzten Raumes, den Raumwinkel, und den Winkel, unter welchem die gröfsten Dimensionen der gesehenen Buchstaben und Zahlen dem Beobachter erschienen, den Zahlenwinkel, so ergab sich, dafs bei gleicher wirklicher Gröfse der Zahlen das Verhältnifs des Zahlenwinkels zum Raumwinkel nahehin constant war; nur bei Raumwinkeln über  $30$  oder  $40^\circ$  waren die Zahlenwinkel etwas gröfser, als dies Verhältnifs erforderte. Dagegen fand sich, dafs bei constanter scheinbarer Gröfse der Zahlen kleine nahe Zahlen besser erkannt wurden als gröfsere ferne. Es fand sich nämlich die Verhältnifszahl des Raumwinkels dividirt durch den Zahlenwinkel, wie folgt:

Wirkliche Gröfse der Zahlen in mm.	Grenze des Raumwinkels.	Verhältnifs des Zahlenwinkels dividirt durch den Raumwinkel.		
		Minimum.	Maximum.	Mittel.
26	$25^\circ$	7	7,9	7,18
26	40	6	7,3	6,69
13	27	11	12	11,14
7	27	9,7	14,5	12,79

In der zweiten Columnne ist als Grenze des Raumwinkels derjenige Werth desselben angegeben, bis zu welchem die Messung ging, oder wenigstens nahehin constante Verhältnifszahlen lieferte. Die letzte Columnne zeigt, dafs das Verhältnifs zwischen Zahlenwinkel und Raumwinkel steigt, wenn die wirkliche Gröfse der Zahlen sich verkleinert. Dieses letztere Factum ist sehr räthselhaft. Sollte der Mechanismus der Accommodation die peripherischen Theile der Netzhaut verändern? AUBERT macht die Annahme, dafs die Stäbchen beim Fernsehen in den Randtheilen der Netzhaut sich schief stellen und dadurch den normalen Gang der Lichtstrahlen hemmen.



die entsprechende Entfernung von der Blechtafel, welche 0,2 m betrug. Alle Lineardimensionen sind auf  $\frac{1}{3}$  reducirt<sup>1</sup>. Es stellen also diese Flächen zunächst diejenigen Theile des Gesichtsfeldes dar, innerhalb deren man zwei Punkte von der angegebenen Gröfse und Entfernung von einander unterscheiden kann; will man die entsprechenden Flächen der Netzhaut haben, so muß man sie umkehren. Die unregelmäßig ovale Gestalt dieser Flächen zeigt beträchtliche individuelle Abweichungen selbst zwischen den beiden Augen derselben Person.

Die mittleren Resultate der Messungen an verschiedenen Paaren von schwarzen Flecken sind in *Fig. 122* dargestellt. Der Fixationspunkt ist *a*, und *ab*, *ac* sind

die Mittel sämtlicher Entfernungen; welche bei allen vier Augen in je 8 verschiedenen Meridianen für das bezüglich bei *b*, *c* u. s. w. stehende Paar von Punkten an der Blechtafel eingestellt wurden. Bei *c* ist das Paar von Punkten, auf welche sich *Fig. 121* bezieht. Man sieht, daß in größerer Entfernung die Breite des Objects schneller

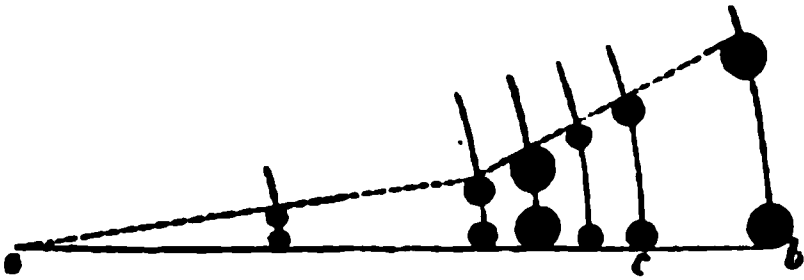


Fig. 122.

zunehmen muß, als bei kleineren Entfernungen. Die gefundenen Mittelzahlen selbst sind folgende:

Entfernung der Punkte in mm.	Durchmesser der Punkte in mm.	Mittlerer Abstand vom Centrum der Blechtafel in mm.
3,25	1,25	31
6,5	2,5	50
9,5	3,75	55
12	1,25	60
14,5	2,5	65
20,5	3,75	77

Bei diesen Versuchen fanden die beiden Beobachter übrigens noch öfters unempfindliche Stellen der Netzhaut, gleichsam kleine blinde Flecke, wo einer der Punkte oder beide plötzlich verschwanden. Aufser solchen Stollen, wo nur eine vorübergehende Blendung stattzufinden schien, waren auch constante vorhanden, die immer wieder zu finden sind.

Daß die Ortsunterscheidung auf den Seitentheilen der Netzhaut so viel schwächer ist, könnte man, indem man nur die Zapfen als lichtempfindlich ansieht, durch die auf gleiche Fläche fallende sparsamere Zahl der durch Stäbchen getrennten und andererseits auch dickeren Zapfen zu erklären suchen. Indessen sind nach AUBERT's und FÖRSTER's Messungen die Unterschiede zwischen Centrum und Peripherie größer, als man nach einer solchen Hypothese erwarten sollte. Die Zählungen von F. SALZER zeigen Unterschiede, die das Verhältniß von 2 zu 5 Zapfen auf gleicher Fläche erreichen, meist aber lange nicht so weit gehen. Gleichzeitig ergibt sich aus diesen Zählungen, daß die Anzahl der Zapfen auf der menschlichen Netzhaut gegen 3 Millionen beträgt, während von Nervenfasern im Sehnerven etwa nur 1 Million vorhanden sein können, daß also nicht jeder Zapfen einer Nervenfaser entsprechen kann.

<sup>1</sup> Die Angabe AUBERT's, daß sie auf  $\frac{1}{4}$  reducirt seien, paßt nicht zu den angegebenen Zahlen.

n Man muß deshalb auch für das Auge an eine andere Hypothese denken, die wahrscheinlich bei den Tastnerven zutrifft. Man denke eine mit empfindenden Elementen bedeckte Fläche, deren Nerven in ein feines anastomosirendes Netz von Nervenfasern aufgelöst sind, welches einerseits mit den zahlreichen empfindenden Elementen, andererseits mit der sehr viel kleineren Zahl zum Gehirn leitender Nervenfasern in Verbindung steht. Man setze ferner voraus, daß jede Erregung eines empfindlichen Elements sich durch das Netz hindurch den in der Nähe aus dem Netz entspringenden Nervenfasern mittheilen könnte, aber um so schwächer, je weiter entfernt diese entspringen. Unter diesen Umständen würde jeder Punkt der Fläche empfindlich sein und die Erregung verschiedener zwischen den Abgangsstellen derselben drei Nervenfasern liegenden Punkte würde dadurch verschiedenen Eindruck machen, daß die Erregung sich in verschiedenem Maasse auf diese drei Nervenfasern vertheilte, je nachdem der erregte Punkt der einen oder der andern unter ihnen näher gelegen wäre. Wenn man also sehr feine Abstufungen im Verhältniß der Erregungsstärken solcher benachbarten Nervenfasern noch erkennen könnte, würde auch eine sehr feine Unterscheidung verschiedener Lagen eines einzelnen erregten Punktes und seiner Bewegung noch möglich sein. Aber zwei Eindrücke würden zwischen denselben ableitenden Nervenfasern immer nur als ein mittlerer erscheinen können. Eine solche Einrichtung würde also eine sehr beschränkte Unterscheidung zweier gleichzeitig gereizten Stellen, und dabei doch eine feine Wahrnehmung der Fortbewegung einer gereizten Stelle geben können.

Die von TOBIAS MAYER schon beobachtete Abhängigkeit der Unterscheidung kleiner Objecte von der Lichtstärke, auf welche wir näher in § 21 eingehen werden, würde bei der zuletzt erörterten Hypothese davon abhängen können, daß die kleineren lokalen Unterschiede nur durch Unterschiede der Lichtstärke angezeigt wären, und wir bei schwacher Helligkeit nur größere Bruchtheile von Lichtstärke unterscheiden.

Aber auch für das Sehen mit gesonderten empfindlichen Elementen, wie es wahrscheinlich in der Netzhautgrube stattfindet, können die oben erwähnten Zeichnungen und Muster des Eigenlichts der Netzhaut schwach beleuchtete und wenig ausgedehnte Bilder leicht unkenntlich machen, während gleichmäßige schwache Belichtung einer ausgedehnteren Fläche leichter als von außen kommend zu erkennen wäre.

842 Die ärztlichen Bestimmungen der Sehschärfe werden in der Regel mit Buchstaben von verschiedener GröÙe ausgeführt, welche man aus größerer Entfernung und mit passender Unterstützung der Accommodation durch Brillengläser betrachten läßt. Als Maas der Sehschärfe eines Auges benutzt man einen Bruch, dessen Zähler der Abstand ist, in welchem jene Buchstaben noch gelesen werden konnten, dessen Nenner dagegen die Entfernung ist, aus der sie unter einem Winkel von 5 Winkelminuten erscheinen. Die letzteren Entfernungen sind bei Buchstabenproben, welche SNELLEN veröffentlicht hat, schon angegeben.

In Durchschnitt findet sich nach VROESOM DE HAAN diese Genauigkeit im 10. Lebensjahre gleich 1,1, im 40. gleich 1,0, im 80. gleich 0,5 und nimmt überhaupt mit steigendem Lebensalter continuirlich ab.

Nach den Beobachtungen von E. JAVAL ist aber bei Correction des Astigmatismus und guter Beleuchtung (gleich der von 500 Kerzen in 1 m Entfernung) die Genauigkeit des Sehens um  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  größer, als DE HAAN angab.















die der Frösche, deren Sehnerven bei den größten Exemplaren nur 4 bis 4,5 mm lang ist. Bei letztern ist es Herrn KÜHNE gelungen, indem er die Elektroden nur am Längsschnitt und Querschnitt des Sehnerven verlegte, eine allerdings kleine negative Schwankung bei Einwirkung des Lichts auf den Bulbus von der Hornhaut her zu beobachten. Der einzige Unterschied der sich zeigte war eine meist noch bei Unterbrechung der Beleuchtung eintretende kurze Verstärkung der negativen Schwankung, nach welcher erst der Ruhezustand wieder eintrat. Herr KÜHNE bezeichnet dies als die negative Schlussschwankung. Sie schwindet im Laufe des Absterbens eher als die gewöhnliche negative Schwankung, die wir von den Muskelnerven kennen.

Auffallendere Abweichungen von dem Gesetze der Muskelnerven zeigt die Netzhaut, der auch in ihrer elektrischen Wirksamkeit eine ungemein feine Empfindlichkeit zukommt, welche sich sogar im isolirten Zustande als ziemlich ausdauernd erweist.

Der Ruhestrom der Netzhaut, wenn man die Elektroden an die entgegengesetzten Seiten der Membran anlegt, geht von der vorderen Seite, wo die Sehnervenfasern liegen, durch den leitenden Bogen zur Stäbchenseite. Er hat also die Richtung des Stromes der ruhenden motorischen Nerven, wenn wir die Ausbreitung der Sehnervenfasern als die hier wirksame Faserschicht betrachten, die hinteren Schichten der Netzhaut als deren natürliche Querschnitte.

Betrachten wir diese Richtung des Ruhestromes als die positive Richtung der Netzhautströme, so giebt plötzliche Belichtung der Netzhaut des Frosches, sei es mit blauem, grünem, gelbem, rothem oder weißem Lichte, erst einen ganz kurzen Ausschlag in positivem Sinne, dann eine negative Schwankung, welche eine verhältnißmäßig constante Ablenkung des Galvanometers hervorbringt, die nur langsam bei gleichmäßig andauernder Belichtung sich dem ursprünglichen Ruhezustande wieder nähert. Diese negative Schwankung ist nicht nothwendig absolut negativ, d. h. die Stromstärke geht nach Ablauf des anfänglichen positiven Ausschlags allerdings zurück, aber sie bleibt dann gerade bei den frischesten Präparaten oft bei einem höher positiven Werthe als dem des Ruhestromes stehen. Bei abnehmender Reizbarkeit schwindet der positive Vorschlag und tritt die negative Schwankung ohne einen solchen ein. Dasselbe geschieht, wenn die Thiere vor dem Versuch im Hellen gesessen haben.

Wenn man die Beleuchtung plötzlich unterbricht, so tritt erst wieder ein kurzer positiver Ausschlag ein, ehe die Netzhaut auf den Ruhestrom zurückkehrt. Auch dieser positive Nachschlag fehlt den Muskelnerven und schwindet bei abnehmender Reizbarkeit der Netzhaut in der Regel erst später, als der positive Vorschlag bei beginnender Reizung.

An Kaninchenaugen haben HOLMGREN wie KÜHNE nur das Stadium der einfachen negativen Schwankung ohne positiven Vorschlag gesehen; wohl aber kam der Nachschlag vor.







bei einem grösseren Sehinkel möglich sei, als jeden einzelnen von ihnen zu erkennen, daraus zu erklären, daß das Auge zitterte und deshalb die Bilder zweier Stäbe sich deckten. Die Gründe, warum nur die Trennung distincter Objecte ein constantes Maass geben kann, entwickelte VOLKMANN, und nach dieser Methode wurden Messungen von E. H. WEBER, BERGMANN, MARIE DAVY und die oben angeführten ausgeführt.

Für die Entdeckung des Sehpurpurs sind im Text schon die hauptsächlichsten Literaturangaben gegeben. Die übrigen werden in der vollständigen Literaturübersicht am Schlusse des Werkes folgen.

Die Reizungströme der Netzhaut wurden von HOLMGREN<sup>1</sup> 1870 gefunden, unabhängig von ihm (1874) auch von den Herrn DEWAR und M'KENDRICK<sup>2</sup>. Die feinere Ausarbeitung dieses Gegenstandes, welche erst unter Berücksichtigung der mittels des Sehpurpurs constatirten grossen Lichtempfindlichkeit der Netzhaut, und unter Anwendung der dabei gefundenen Methoden sie unversehrt zu halten, möglich wurde, verdanken wir hauptsächlich Herrn W. KÖHNE<sup>3</sup>.

## § 19. Die einfachen Farben.

Wir gehen jetzt über zur Untersuchung der Empfindungen, welche verschiedenartiges Licht im Sehnervenapparat erregt. Es giebt, wie wir schon im § 8 auseinandergesetzt haben, Licht von verschiedener Schwingungsdauer, welches sich ausserdem in physikalischer Beziehung durch seine Wellenlänge, seine Brechbarkeit und Absorptionsfähigkeit in gefärbten Mitteln unterscheidet. In physiologischer Beziehung unterscheidet sich Licht von verschiedener Schwingungsdauer im Allgemeinen dadurch, daß es im Auge die Empfindung verschiedener Farben erregt.

Fast alle Lichtquellen, welche wir kennen, entsenden gleichzeitig Licht verschiedener Schwingungsdauer. Um aus solchem gemischten Lichte einfaches Licht, d. h. Licht von einem einzigen Werthe der Schwingungsdauer auszusondern, ist die Brechung in durchsichtigen Prismen das vollkommenste Mittel. Wenn von einer entfernten Lichtquelle *a* (Fig. 123) einfaches blaues Licht durch ein Prisma *P* in das Auge des Beobachters *O* fällt, so werden die Lichtstrahlen im Prisma gebrochen, von ihrem früheren Wege abgelenkt, und der Beobachter erblickt daher das Bild der Lichtquelle verschoben in der Richtung, nach welcher der brechend Winkel *p* des Prisma gekehrt ist, etwa bei *b*, natürlich in der Farbe des Lichts,

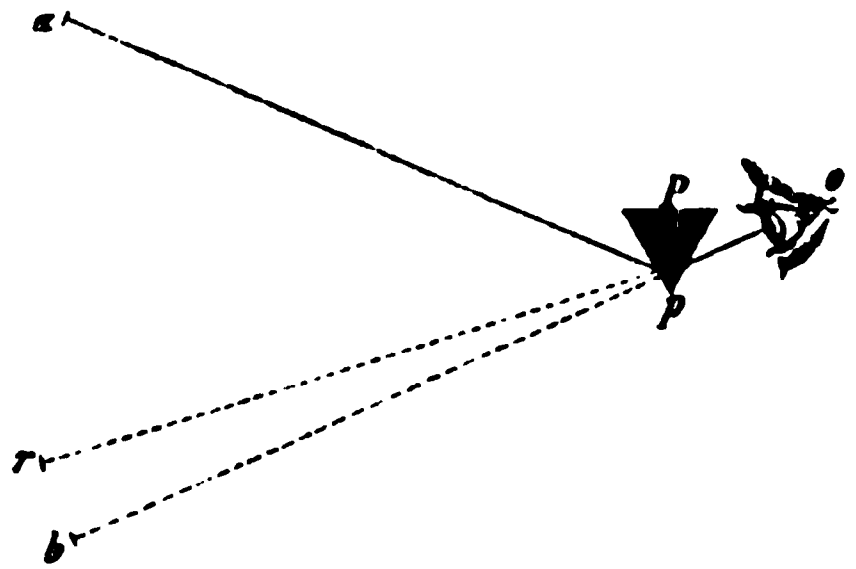


Fig. 123.

<sup>1</sup> F. HOLMGREN, *Upsala Läkareförenings Förhandlingar*. Vol. VI. 1870—71. No. 5. p. 419. Auch in *Forschungen aus dem Physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg*. Bd. III. S. 278.

<sup>2</sup> DEWAR und M'KENDRICK, *on the Physiological action of light*. *Transact. of the R. Society of Edinburgh*. Vol. XXVII. p. 141.

<sup>3</sup> W. KÖHNE, *Untersuchungen aus dem Physiologischen Institute d. Univ. Heidelberg*. Bd. III S. 327—377. (1880.) Bd. IV. S. 1 bis 106 (1881).



























Sprung in der Farbenreihe ist, sondern die Farbtöne continuirlich in einander übergehen. Es ist dieser Versuch gleichzeitig eines der prachtvollsten Schauspiele, welches die Optik darbietet, wegen des Reichthums, der intensiven Sättigung und der zarten Übergänge der Farbtöne.

Wegen der allmäligen Übergänge ist es auch unmöglich, den einzelnen Farben im Spectrum naturgemäfs eine bestimmte Breite anzuweisen. Um die Stelle und Vertheilung der Farben, so weit es möglich ist, zu bezeichnen, will ich hier die den FRAUNHOFER'schen Linien entsprechenden Farbtöne hersetzen mit ihren Wellenlängen, letztere ausgedrückt durch Milliontel eines Millimeters: 236

Linie.	Wellenlänge.	Farbe.
A	760,40	Äußerstes Roth.
B	686,853	Roth.
C	656,314	Grenze des Roth und Orange.
D	{589,625 589,023	Goldgelb.
E	526,990	Grün.
F	486,164	Cyanblau.
G	430,825	Grenze des Indigo und Violet.
H	396,879	Grenze des Violet.
L	381,96	} Überviolet.
M	372,62	
N	358,18	
O	344,10	
P	336,00	
Q	328,63	
R	317,98	
U	294,77	

Da der Unterschied der Farbenempfindung im Auge wie der der Tonhöhe im Ohre dem Unterschiede in der Schwingungsdauer der erregenden Licht- oder Tonwellen entspricht, so hat man vielfältig versucht, die Farbstufen des Spectrum nach demselben Principe abzutheilen, wie es bei den ganzen und halben Tönen in der musikalischen Tonleiter geschieht. NEWTON versuchte es zuerst. Da er aber noch nicht die Abhängigkeit der Breite, welche die einzelnen Farben im prismatischen Spectrum einnehmen, von der Natur der brechenden Substanz kannte, und der damals noch sehr unentwickelten Undulationstheorie des Lichtes abgeneigt war, so theilte er unmittelbar das Spectrum von Glasprismen, so weit er es kannte, ungefähr zwischen den Linien B und H, in 7 Streifen ein, deren Breite dem Verhältnisse der Intervalle in einer Tonleiter, d. h. den Zahlen  $\frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{10}{9}, \frac{9}{8},$



mit Sonnenlicht ausgeführte Spectralphotographien bis zur Wellenlänge 293,2 dem oben angeführten  $\lambda$  entsprechend für das äußerste Ultraviolett, was die Atmosphäre noch bis zum Riffelhause bei Zermatt (2570 m hoch) durchdringt. Im elektrischen Kohlenlicht kommen nach seinen Untersuchungen noch Strahlen vor, die schneller schwingen, aber durch die Luft schnell absorbiert werden; solche von 211,84 Wellenlänge schon in 10 m, von 184,21 in 1 m, von 156,58 in 0,1 m verlöschend. Dadurch ist für unsere Beobachtungen im Luftraum die Grenze gezogen.

Danach würde, akustisch berechnet, die äußerste Grenze des elektrischen Kohlenlichts bei  $\lambda'$ , eine Octave höher als die Grenze des Sonnenspectrum liegen.

Aus der gegebenen Vergleichungstafel der halben Töne und Farbenstufen 237 geht nun hervor, daß an beiden Grenzen des Spectrum die Farbe sich innerhalb mehrerer halber Tonstufen nicht merklich ändert, in der Mitte dagegen die sehr mannigfaltigen Übergangsfarben des Gelb in Grün alle in die Breite eines einzigen halben Tones zusammengedrängt sind. Daraus folgt, was in folgenden Paragraphen weiter zu besprechen ist, daß in der Mitte des Spectrum das Auge für die Änderung der Schwingungsdauer des Lichts viel empfindlicher ist, als an den Enden des Spectrum, und daß die Farbenstufen ihrer Größe nach keineswegs in ähnlicher Weise von der Schwingungsdauer abhängen, wie die Abstufungen der Tonhöhe.

Da die vorliegenden physiologischen Untersuchungen eine viel genauere Scheidung des einfachen Lichts von einander nothwendig machen, als es bei physikalischen Untersuchungen im Allgemeinen erfordert wird, will ich hier die Theorie der Brechung in Prismen besprechen, soweit sie für die Herstellung reiner Spectra nöthig ist. Man hatte früher, so viel ich gefunden habe, immer nur die Brechung einzelner Lichtstrahlen in den Prismen untersucht, aber nicht die Lage und Beschaffenheit der prismatischen Bilder, und doch, wenn man mit dem Auge durch ein Prisma sieht, oder das aus dem Prisma tretende Licht durch Linsen und Fernröhre gehen läßt, kommt es wesentlich darauf an, die prismatischen Bilder 238 für jede Art homogenen Lichtes zu kennen, denn sie sind dann als die Objecte für die weiteren optischen Bilder zu betrachten, welche die Augenmedien und Linsen entwerfen.

Diese Lücke habe ich selbst in der ersten Auflage dieses Werkes auszufüllen gesucht. Da die betreffende mathematische Untersuchung aber seitdem anderwärts<sup>1</sup> veröffentlicht worden, und rein physikalischer Natur ist, möge es hier genügen, ihre Ergebnisse auseinanderzusetzen. "

Bilder entworfen bei parallelen einfallenden Strahlen. Wenn die einfallenden Strahlen untereinander parallel sind, so fallen sie alle unter gleichen Einfallswinkeln und in parallel liegenden Einfallsebenen auf die erste Fläche des Prisma, haben also auch nach der ersten und demzufolge ebenso nach der zweiten Brechung parallele Richtung. Unter diesen Umständen können sie nach der Brechung im Prisma, wie vorher, angesehen werden wie Strahlen, die von einem unendlich entfernten leuchtenden Punkte kommen; sie sind vor wie nach der Brechung homocentrisch, und das durch das Prisma gegangene Bündel kann

<sup>1</sup> H. HELMHOLTZ, *Wissenschaftliche Abhandlungen*. Bd. II. S. 147—182 Leipzig 1883.

V. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*. 2. Aufl.

also ebenso gut wie das einfallende benutzt werden, um durch Linsen oder Kugelspiegel genaue Bilder des unendlich entfernten leuchtenden Punktes, beziehlich seines ebenfalls unendlich entfernten prismatischen Bildes zu geben.

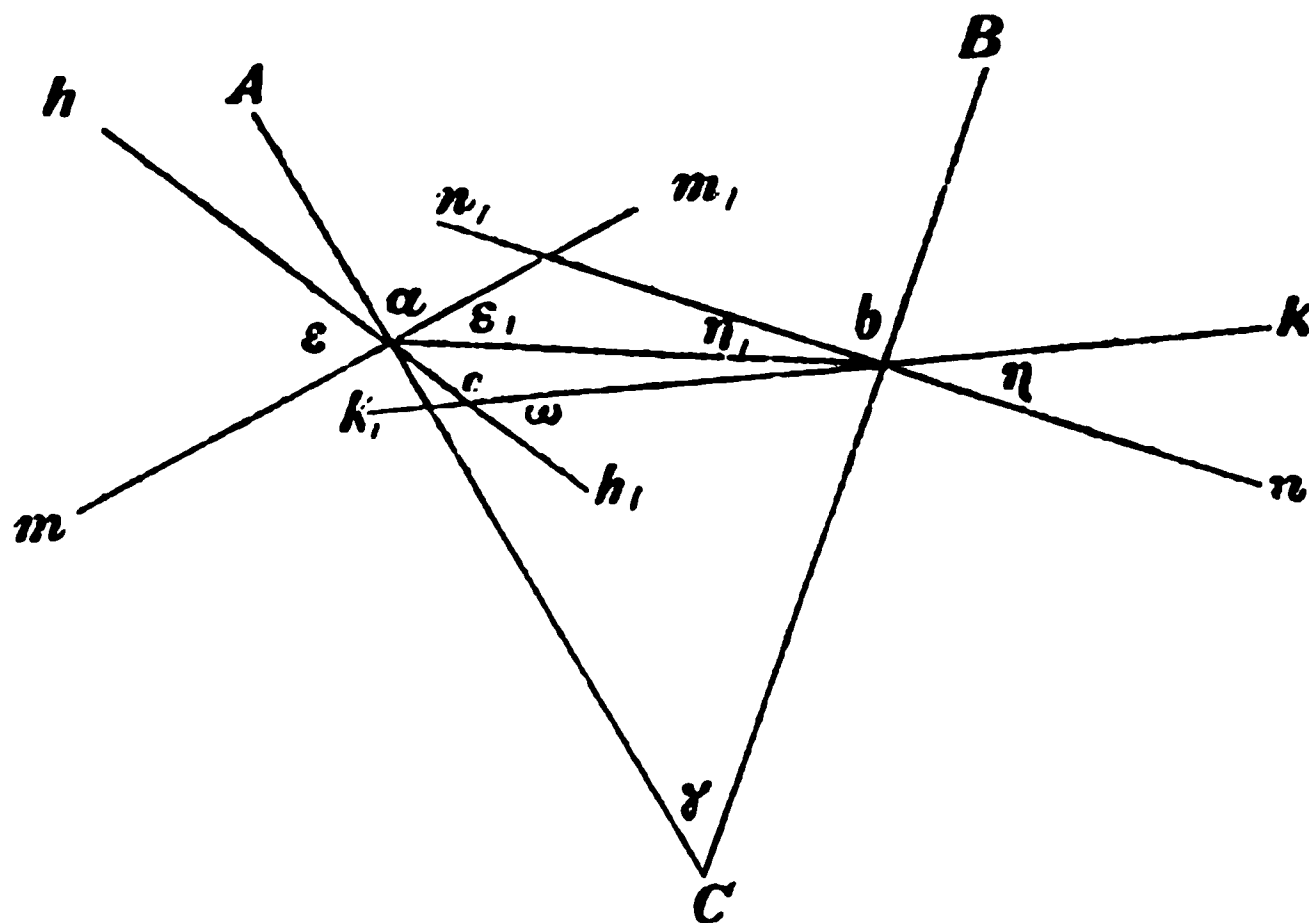
Bei den neueren Spectralapparaten benutzt man meistens diese Eigenthümlichkeit der parallelen Strahlenbündel vollkommene optische Bilder zu geben, indem man die lichtgebende Linie, sei es nun ein feiner Spalt, durch den äusseres Licht eindringt, oder ein glühender Draht, oder eine mit elektrischem Glimmlicht gefüllte Capillarröhre, in die Brennebene einer achromatischen Convexlinse bringt (Collimatorlinse), in der alle von einem Punkt der Lichtquelle ausgehenden Strahlen erst durch Brechung parallel gemacht werden, ehe sie auf das Prisma fallen. Um diesen Vortheil aber vollständig zu haben, muss man darauf achten, dass die lichtgebende Linie sich genau in der Brennebene der Collimatorlinse befinde.

### I. Bilder unendlich entfernter leuchtender Flächen.

Nur wenn die Flächen verschwindend kleine Ausdehnung haben, sind die prismatischen Bilder derselben ihren Objecten geometrisch ähnlich, da die Ablenkung der Strahlen, welche in verschiedenen Richtungen durch das Prisma gehen, verschieden groß ist.

Wir wollen eine senkrecht zur brechenden Kante des Prisma gelegte Ebene eine Hauptebene desselben nennen. Die Einfallslothe liegen immer in einer Hauptebene.

A. Ablenkung von Strahlen, die in einer Hauptebene verlaufen. Für die Anwendung ist dies der wichtigste Fall. In *Fig. 125* sei die Ebene der



*Fig. 125.*

Zeichnung die betreffende Hauptebene, und die brechende Kante des Prisma senkrecht zu derselben durch den Punkt  $C$  gehend gedacht.  $AC$  und  $BC$  seien die Schnittlinien der beiden brechenden Flächen des Prisma mit der Ebene der Zeichnung;  $ha$ ,  $ab$ ,  $bk$  seien Stücke des Strahls,  $mm$ , und  $nn$ , die Einfallslothe in  $a$  und  $b$ . Da nach der Voraussetzung der einfallende Strahl  $ha$  senkrecht zu der brechenden Kante sein soll, die Einfallslothe dies ebenfalls sind: so müssen beide ganz in der Ebene der Zeichnung liegen, wenn diese den Einfallspunkt  $a$  enthält. Die Ebene

der Zeichnung ist also Einfallsebene, folglich auch Brechungsebene für den Strahl; also liegt auch der dem gebrochenen Punkte angehörige Punkt  $b$ , wie das zweite Einfallslot  $nn$ , in derselben; folglich auch der zweite gebrochene Strahl  $bk$ , und da  $ka$  und  $bk$  in derselben Ebene liegen und nicht parallel sind, müssen sie passend verlängert sich in dieser Ebene schneiden. Der Schnittpunkt sei  $c$ .

Die Winkel, welche die Strahlen der Reihe nach mit den beiden Einfallsloten verbinden, bezeichne ich mit

$$\begin{aligned}\angle ham &= \varepsilon & \angle kbn &= \eta \\ \angle bam, &= \varepsilon, & \angle abn, &= \eta,\end{aligned}$$

Den brechenden Winkel des Prisma bezeichne ich

$$\angle ACB = \gamma.$$

Nun ist, wenn wir mit  $R$  einen rechten Winkel bezeichnen,

$$\angle abB = \eta, + R$$

und Außenwinkel zum Dreieck  $bCa$ ; als solcher ist

$$\begin{aligned}abB &= bCa + Cab, \text{ oder} \\ \eta, + R &= \gamma + R - \varepsilon,,\end{aligned}$$

also:

$$\gamma = \eta, + \varepsilon, \dots \dots \dots 1).$$

Dazu kommt, wenn  $n$  das Brechungsverhältniß des Prisma bezeichnet:

$$\left. \begin{aligned}\sin \varepsilon &= n \cdot \sin \varepsilon, \\ \sin \eta &= n \cdot \sin \eta, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 2).$$

Der Ablenkungswinkel  $\omega$  zwischen den beiden Strahlen ist Außenwinkel zum Dreieck  $abc$ , also

$$\begin{aligned}\omega &= \varepsilon - \varepsilon, + \eta - \eta, \\ &= \varepsilon + \eta - \gamma \dots \dots \dots 3).\end{aligned}$$

Aus der allgemeinen trigonometrischen Formel

$$\sin \varepsilon + \sin \eta = 2 \cdot \sin \frac{\varepsilon + \eta}{2} \cdot \cos \frac{\varepsilon - \eta}{2}$$

ergibt sich bei Berücksichtigung der Gleichungen 1), 2) und 3)

$$\sin \left( \frac{\omega + \gamma}{2} \right) = n \cdot \sin \left( \frac{\gamma}{2} \right) \cdot \frac{\cos \left( \frac{\varepsilon, - \eta,}{2} \right)}{\cos \left( \frac{\varepsilon - \eta}{2} \right)} \dots \dots 4).$$

Daraus folgt, daß, wenn der Strahl durch beide Prismenflächen unter gleichen Winkeln geht, also

$$\varepsilon = \eta,$$

wobei auch

$$\varepsilon, = \eta,$$

sein muß, die GröÙe der Ablenkung sich durch die Gleichung bestimmt

$$\sin \left( \frac{\omega + \gamma}{2} \right) = n \cdot \sin \left( \frac{\gamma}{2} \right), \dots \dots \dots 5).$$

welche Gleichung zur Bestimmung des  $n$  für die Substanz der Prismen vorzugsweise gebraucht wird.





Für Glas vom Brechungsverhältniß  $\frac{3}{2}$  ist  $h = 41^\circ 49'$ , für Flintglas mit  $n = \frac{5}{3}$  ist es  $36^\circ 52'$ .

Da nun nach Gleichung 1)

$$\gamma = \varepsilon + \eta,$$

so folgt, daß

$$\gamma < 2h$$

sein muß, wenn der brechende Winkel überhaupt Licht durchlassen soll. Das giebt für die beiden eben genannten Glasarten die Grenzen  $83^\circ 38'$  und  $73^\circ 44'$  für die größten brechenden Winkel, die überhaupt Licht durchlassen.

Ist der brechende Winkel kleiner als  $2h$ , so sind die Grenzen der durchzulassenden Strahlen dadurch gegeben, daß einerseits  $\varepsilon$ , andererseits  $\eta$ , gleich  $h$  werden können. An der einen Grenze ist also

$$\varepsilon = h$$

$$\varepsilon = R$$

$$\eta = \gamma - h \text{ und } \sin \eta = n \cdot \sin (\gamma - h).$$

An der andern Grenze vertauschen sich nur die Werthe von  $\varepsilon$ , und  $\eta$ , sowie von  $\varepsilon$  und  $\eta$  untereinander. Der Winkel  $(\gamma - h)$  kann bei kleinen Werthen des brechenden Winkels  $\gamma$  auch negativ werden, d. h. der betreffende Strahl liegt dann im Prisma auf der der brechenden Kante abgekehrten Seite des Einfallslotthes, außerhalb des Prisma auf der zugekehrten Seite.

Die scheinbare Breite des Spalts im prismatischen Bilde für monochromatisches Licht ergibt sich aus Gleichung 6), wenn wir  $d\varepsilon$  als den Werth der scheinbaren Breite des wirklichen Spalts vom Orte des Prisma gesehen nehmen. Dann ist  $d\eta$  die entsprechende GröÙe im prismatischen Bilde. Wie wir eben gesehen haben, ist  $d\eta > d\varepsilon$ , wenn  $\eta > \varepsilon$ . Schmalere Spaltbilder bekommen wir also für ein größeres  $\varepsilon$ , kleineres  $\eta$ , d. h. wenn wir in die uns zugekehrte Seite des Prisma senkrechter hineinsehen, als dem Minimum der Ablenkung entspricht.

GröÙe der Zerstreuung für Licht von verschiedener Brechbarkeit. Wenn die einfallenden Strahlen aus fester Richtung kommen, der Winkel  $\varepsilon$  für sie also nicht variirt, so ändert sich doch  $\eta$  mit dem Brechungsverhältniß  $n$ . Die GröÙe

$$d\eta = \frac{d\eta}{dn} \cdot dn$$

giebt dann die scheinbare Breite des Farbenstreifens im Spectrum, der dem Intervall des Brechungsverhältnisses  $d\eta$  entspricht.

Um den Differentialquotienten  $\frac{d\eta}{dn}$  zu bilden, können wir die Gleichungen 2)

und 1) differentiiren, indem wir  $\varepsilon$  und  $\gamma$  als unveränderlich betrachten. Dies giebt:

$$0 = dn \cdot \sin \varepsilon + n \cdot \cos \varepsilon \cdot d\varepsilon,$$

$$\cos \eta \cdot d\eta = dn \cdot \sin \eta + n \cdot \cos \eta \cdot d\eta,$$

$$d\varepsilon + d\eta = 0.$$

Multiplirciren wir die erste der drei Gleichungen mit  $\cos \eta$ , die zweite mit  $\cos \varepsilon$ ,



abgelenkt, als in derjenigen Stelle, die in einer durch das Auge des Beobachters gelegten Hauptebene liegt.

Die Einfallsebene und die Hauptebene, welche zu jedem der beiden Einfallspunkte des durchgehenden Strahls gehören, schneiden sich im Einfallslloth, das in dem betreffenden Einfallspunkte errichtet ist. Bezeichnen wir nun wie bisher mit  $\varepsilon$  und  $\varepsilon_1$  den Einfalls- und Brechungswinkel, mit  $\delta$  und  $\delta_1$  die Projectionen dieser Winkel auf die Hauptebene, und mit  $\varphi$  den Winkel zwischen der Einfallsebene und der Hauptebene, so ist nach einem bekannten Satze der sphärischen Trigonometrie

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \cos \varphi \cdot \tan \varepsilon \\ \tan \delta_1 &= \cos \varphi \cdot \tan \varepsilon_1. \end{aligned}$$

Das Brechungsgesetz aber ergibt:

$$\sin \varepsilon = n \cdot \sin \varepsilon_1.$$

Ersetzt man hierin die Sinus durch die Tangenten, und erhebt auf das Quadrat, so giebt dies:

$$\frac{\tan^2 \varepsilon}{1 + \tan^2 \varepsilon_1} = n^2 \cdot \frac{\tan^2 \varepsilon_1}{1 + \tan^2 \varepsilon_1},$$

als eine andere Form des Brechungsgesetzes. Ersetzt man hierin  $\varepsilon$  und  $\varepsilon_1$  durch ihre Projectionen auf eine Hauptebene, so ergibt sich

$$\frac{\tan^2 \delta}{\cos^2 \varphi + \tan^2 \delta} = n^2 \cdot \frac{\tan^2 \delta_1}{\cos^2 \varphi + \tan^2 \delta_1},$$

oder

$$\left. \begin{aligned} \tan^2 \delta &= \frac{n^2 \cdot \tan^2 \delta_1 \cdot \cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi - (n^2 - 1) \cdot \tan^2 \delta_1}, \\ \tan^2 \delta_1 &= \frac{\tan^2 \delta \cdot \cos^2 \varphi}{n^2 \cdot \cos^2 \varphi + (n^2 - 1) \cdot \tan^2 \delta} \end{aligned} \right\} \dots 9)$$

so daß jeder dieser Winkel aus dem andern gefunden werden kann.

Wenn wir die beiden Winkel  $\eta$  und  $\eta_1$  ebenso auf dieselbe Hauptebene projectirt denken, und ihre Projectionen  $\zeta$  und  $\zeta_1$  nennen, den Winkel zwischen den Ebenen der beiden Winkel dagegen  $\psi$ , so erhalten wir entsprechende Gleichungen, wie 9) auch für  $\zeta$  und  $\zeta_1$ , also mit kleiner Änderung der Schreibweise:

$$\tan^2 \zeta = \frac{n^2 \cdot \tan^2 \zeta_1}{1 - \frac{n^2 - 1}{\cos^2 \psi} \cdot \tan^2 \zeta_1} \dots 9a).$$

Wieder haben wir für den brechenden Winkel des Prisma

$$\gamma = \delta + \zeta, \dots 10)$$

und wenn wir mit  $O$  die Projection des Ablenkungswinkels  $\omega$  auf die Hauptebene bezeichnen

$$O + \gamma = \delta + \zeta \dots 10a),$$

Die Winkel  $\psi$  und  $\varphi$  sind miteinander verbunden durch die Gleichung

$$\frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi \cdot \cos^2 \delta_1 + \sin^2 \gamma} = \frac{\cos^2 \psi}{\cos^2 \psi \cdot \cos^2 \zeta_1 + \sin^2 \gamma}, \dots 10b)$$

welche sich ergibt, wenn man durch den Strahl im Prisma und seine Projection

auf die Hauptschnitte eine Ebene legt, die demzufolge der brechenden Kante parallel sein muß, und berücksichtigt, daß die in dieser Ebene liegenden Winkel zwischen dem Strahl und seinen beiden Projectionen gleich sein müssen.

Die in Gleichung 9a) gegebene Form läßt am leichtesten erkennen, daß wenn der Winkel  $\varphi$  oder  $\psi$  wächst, sein Cosinus also abnimmt, auch der Nenner des Bruchs kleiner und  $\tan \varphi$  oder  $\tan \zeta$  größer wird. Die Brechung in den Projectionen des Strahls ist also stärker, je mehr die Einfallsebene von der Hauptebene abweicht. Da dies bei beiden Brechungen im Prisma stattfindet, muß auch die Gesamtablenkung der Projection von Strahlen, die geneigt zur Hauptebene durchgehen, stärker sein, als für solche, die in der Hauptebene verlaufen und bleiben.

Gleichung 10b) ergibt, daß auch die Größen  $\cos \varphi$  und  $\cos \psi$  nur gleichzeitig zu- und abnehmen können.

Wegen der hieraus resultirenden Krümmung prismatischer Bilder von leuchtenden Linien, dürfen letztere keine große Länge haben, wenn man genaue Spectren haben will und die brechende Kante des Prisma muß senkrecht gegen die Gesichtslinie des Beobachters und parallel dem Spalt sein.

## II. Bilder näherer Punkte für Strahlen in der Hauptebene.

In Fig. 126 sei  $ab$  ein auf die Grenzfläche zweier durchsichtiger Medien fallender Strahl,  $ab$ , ein zweiter ihm sehr nahe benachbarter von demselben leuchtenden Punkte  $a$  ausgehender in derselben Einfallsebene gelegen. Das von  $b$  auf  $ab$ , gefällte Loth treffe den letzteren Strahl in  $d$ . Dies Loth macht mit der Ebene  $cb$ , denselben Winkel, wie die zu beiden normalen Linien  $r$  und  $ac$ , also ist

$$bd = bb_1 \cdot \cos \alpha.$$

Wenn wir  $bb_1 = dx$  und den sehr kleinen Winkel  $b_1ab$  mit  $d\alpha$  bezeichnen, können wir diese Gleichung schreiben

$$r \cdot d\alpha = dx \cdot \cos \alpha.$$

Sind nun  $b_1f$  und  $bf$  die gebrochenen Strahlen, die sich rückwärts verlängert schneiden müssen, da sie beide in der Ebene der Zeichnung (Einfallsebene) liegen, und ist  $e$  deren Schnittpunkt,  $cb = r$ , so besteht die entsprechende Beziehung zwischen diesen

$$r_1 \cdot d\beta = dx \cdot \cos \beta.$$

Daraus folgt:

$$\frac{r_1}{r} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{d\beta}.$$

Nach dem Brechungsgesetz ist

$$\sin \alpha = n \sin \beta,$$

also wenn wir  $\alpha$  und  $\beta$  ändern:

$$\cos \alpha \cdot d\alpha = n \cdot \cos \beta \cdot d\beta.$$

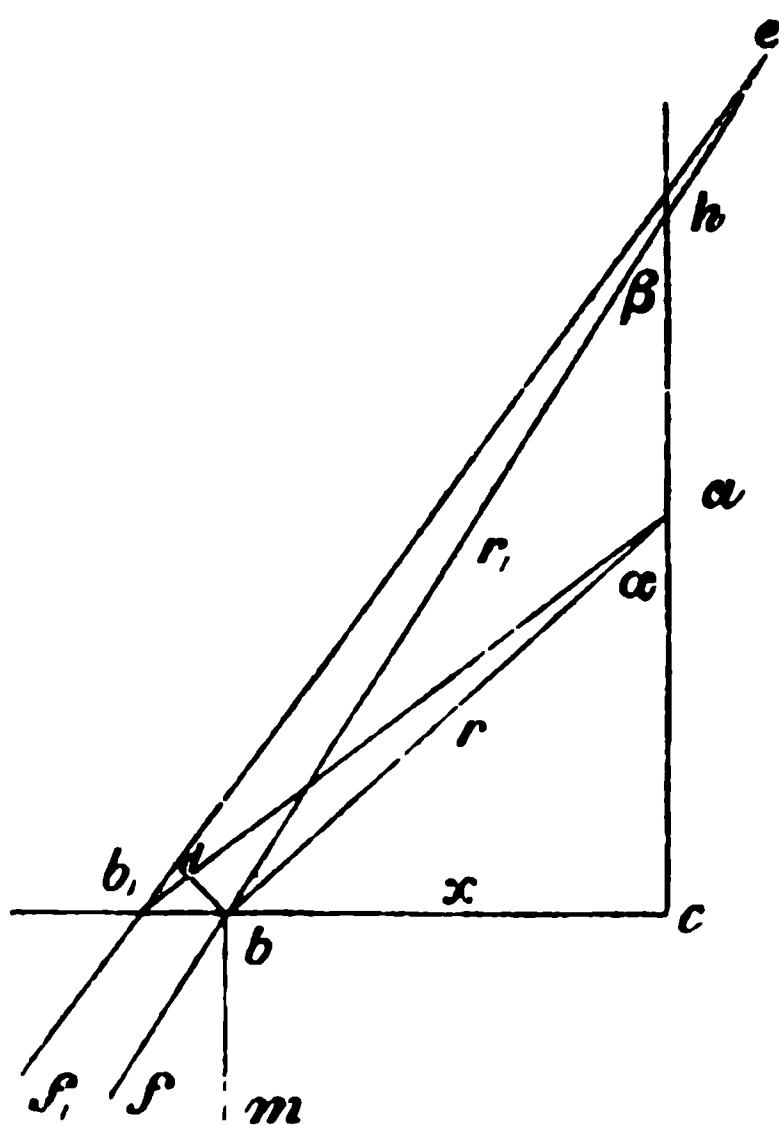


Fig. 126.

Dies in die obige Gleichung gesetzt, giebt

$$\frac{r_1}{r} = \frac{n \cdot \cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha} \dots \dots \dots 11).$$

Wenn  $b$ , die Kante eines Prisma ist. und an der zweiten Fläche desselben der Einfallswinkel im Glase  $\beta$ , ist, auferhalb desselben  $\alpha$ , wenn ferner  $r_2$  die Entfernung des scheinbaren Convergenzpunktes der Strahlen nach der zweiten Brechung anzeigt, so ist hierfür entsprechend

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{n \cdot \cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha}, \dots \dots \dots 11a).$$

Also aus 11) und 11a)

$$\frac{r_2}{r} = \frac{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta}, \dots \dots \dots 11b).$$

Es ist dies dieselbe Größe, die oben in Gleichung 6) schon vorgekommen ist als Werth von  $\left(\frac{d\alpha}{d\beta}\right)^2$ , und es lassen sich dieselben Betrachtungen anwenden, um den Gang dieser Function darzustellen.

Im Minimum der Ablenkung ist  $\alpha = \beta$ ,  $\alpha_1 = \beta_1$ , folglich auch  $r_2 = r$ . Wenn  $\alpha_1 < \alpha$  ist  $r_2 > r$ , umgekehrt  $r_2 < r$ , wenn  $\alpha_1 > \alpha$ . Man merkt dies sehr deutlich bei der Einstellung des Fernrohrs auf die FRAUNHOFER'schen Linien eines endlich entfernten Spaltes.

## IIa. Astigmatismus der Bilder näherer Lichtpunkte.

Wenn man sich *Fig. 126* um das vom leuchtenden Punkte  $a$  auf die brechende Fläche gefällte Loth  $ac$  als Axe gedreht denkt, so ändert die brechende Fläche ihre Lage nicht, indem sie sich in sich selbst verschiebt; der Einfallspunkt des Strahls  $ab$  aber verschiebt sich in der brechenden Fläche senkrecht zur Linie  $cb$ , während wir ihn in II. sich in Richtung dieser Linie selbst verschieben ließen;  $bf$  bleibt der zu  $ab$  gehörige gebrochene Strahl, und wenn  $h$  der Punkt ist, wo derselbe die Axe  $ac$  schneidet, so bleibt auch dieser Schnittpunkt bei der Drehung unverändert. Während also  $a$  der Ausgangspunkt aller in der Entfernung  $cb$  einfallenden Strahlen ist, ist  $h$  der Schnittpunkt der zugehörigen gebrochenen Strahlen. Bezeichnen wir  $bh = r_3$ , so ist

$$\sin \alpha = \frac{x}{r}$$

$$\sin \beta = \frac{x}{r_3},$$

also nach dem Brechungsgesetz

$$\frac{x}{r} = n \cdot \frac{x}{r_3}$$

oder

$$r_3 = n \cdot r.$$

Bezeichnet man mit  $r_4$  den Abstand des Convergenzpunktes der betreffenden Strahlen nach der Brechung an der zweiten Prismenfläche, indem wir wieder die brechende Kante senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch  $b$  gehend annehmen,



wir mit  $l$  bezeichnen wollen, durch eine ähnliche Differentiation wie vorher findet

$$\frac{d\eta}{dn} = \frac{d\eta}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dn} = l \cdot \frac{d\lambda}{dn} = \frac{\sin \gamma}{\cos \eta \cdot \cos \epsilon_1}.$$

Dann wird

$$H = \frac{h \cdot d\epsilon}{l}.$$

Abgesehen also von dem Verluste durch Reflexion und Absorption, ist die Helligkeit des Spectrum, unabhängig von der Brechkraft des Prisma und den Brechungswinkeln, direct proportional der Helligkeit der betreffenden Farben im Spectrum, der scheinbaren Breite des Spaltes und umgekehrt proportional der scheinbaren Länge des betreffenden Theils des Spectrum.

Wenn die Brechung im Minimum der Ablenkung geschieht, ist die scheinbare 261  
Breite des Spaltes der seines Bildes gleich, und man kann  $\frac{l}{d\epsilon}$  als Maass der Reinheit des Spectrum betrachten. Dann ist also die Helligkeit des Spectrum bei gleichbleibender Helligkeit des durch den Spalt dringenden Lichts einfach umgekehrt proportional seiner Reinheit. Daraus folgt also, dass zur Erreichung der grössten Reinheit auch das intensivste Licht nöthig ist.

Dagegen würde es theoretisch möglich sein, etwas grössere Helligkeit bei gleicher Reinheit des Spectrum zu gewinnen, wenn man den Einfallswinkel an der ersten brechenden Fläche vergrössert, und den Spalt breiter macht; um aber die Länge des Spectrum constant zu erhalten, müsste man auch noch den brechenden Winkel vergrössern. Indessen lässt sich praktisch dadurch nichts gewinnen, weil der Lichtverlust durch Reflexion immer grösser wird, und die kleinen Abweichungen der brechenden Flächen von einer vollkommenen Ebene das Bild desto mehr verwirren, je grösser der Einfallswinkel ist.

Bisher ist der Gebrauch des Prisma ohne Vergrösserungsgläser vorausgesetzt worden. Das prismatische Spectrum kann nun aber auch wie jedes andere optische Bild als Object für ein Fernrohr gebraucht und beliebig vergrössert werden. Dabei wird die Reinheit des Spectrum natürlich nicht verändert, und wenn das Fernrohr eine hinreichend grosse Apertur hat, um die gesehenen Gegenstände in ihrer natürlichen Helligkeit zu zeigen, und die Apertur des Prisma dieser gleichkommt, so ist auch die Helligkeit des vergrösserten Bildes unverändert. Auch bleiben die in dem Vorausgehenden hingestellten Regeln über Helligkeit und Reinheit des Spectrum unverändert, wenn man unter  $d\epsilon$  die scheinbare Grösse des Spaltes, unter  $d\eta$  die seines Bildes, unter  $l$  die Länge des bestimmten Theils des Spectrum versteht, wie sie durch das Fernrohr erscheinen. Aus der für die Helligkeit hingestellten Bedingung ergibt sich übrigens, warum für Versuche ohne Fernrohr ganz kleine Prismen ausreichen, während man für Fernrohrversuche desto grössere haben muss, je stärker die Vergrösserung.

Um ein Spectrum herzustellen, lässt man Licht durch einen engen Spalt auf ein Prisma fallen, das hindurchgegangene Licht kann man entweder direct in das Auge oder ein Fernrohr fallen lassen, oder es durch eine Linse zu einem objectiven Bilde des Spectrum condensiren.

Als Lichtquelle kann man jeden leuchtenden Körper benutzen, bekanntlich ist die Helligkeit der einzelnen Farben in dem Lichte verschiedener selbstleuchtender Körper,









kann nun auch durch diese Fläche Licht von seitlichen Gegenständen in das Auge des Beobachters kommen, für dessen Abblendung man sorgen muß. Am besten ist es jedenfalls, mit Ausnahme der beiden brechenden Flächen des Prisma alle übrigen zu schwärzen.

Wenn man das Spectrum durch ein Fernrohr beobachtet, kommen auch die Reflexionen an den vorderen und hinteren Flächen der Linsen in Betracht. Es werden dadurch kleine lichtschwache regelmässige Bildchen der vor dem Fernrohr liegenden Objecte entworfen, die aber meist so liegen, daß der Beobachter sein Auge nicht für sie accommodiren kann, und die deshalb eine schwache weisse Beleuchtung des Gesichtsfeldes geben. Man bemerkt diese Beleuchtung leicht, wenn man ein Fernrohr auf einen tief-schwarzen Gegenstand richtet, während seitwärts sich sehr helle befinden. Das Gesichtsfeld grenzt sich dann als schwach erleuchtet gegen die schwarze Blendung des Oculars ab. 264

Einen ähnlichen, aber schwerer zu beseitigenden Effect hat die Zerstreuung des Lichts in den Glasmassen. Eine jede noch so klare Glasmasse erscheint weislich trübe, sobald man sie scharf von der Sonne beschienen vor dunklem Grunde betrachtet, namentlich wenn das Auge sich nahehin in der Richtung der durchgelassenen Strahlen befindet. Dasselbe ist, wie wir schon früher bemerkt haben<sup>1</sup>, der Fall mit der Hornhaut und Linse des menschlichen Auges. Wir müssen also berücksichtigen, daß jede der vom Lichte durchlaufenen Glasmassen eine, wenn auch verhältnismässig kleine Menge des Lichtes, welches überhaupt durch sie hinget, diffus zerstreut und mit solchem Licht das Gesichtsfeld des Beobachters anfüllt. Ebenso ist auch stets eine sehr kleine Menge von jeder Art Licht, welche überhaupt in das Auge dringt, über die ganze Netzhaut ausgebreitet. Solches unregelmässig zerstreute Licht ist allerdings von außerordentlich geringer Lichtstärke, wenn man es mit dem regelmässig gebrochenen oder reflectirten Lichte vergleicht. Doch wird es merklich, wenn man sehr lichtschwache Theile des Spectrum zu untersuchen hat. Es ist z. B. der Grund, warum man bei den gewöhnlichen Einrichtungen der Spectralversuche das äußerste Roth der Linie A und das Ultraviolett nicht wahrnimmt, und es macht sich auch sehr bemerklich, wenn man einzelne Stellen des Spectrum durch farbige Gläser oder Flüssigkeiten sehr abschwächt, dann kann der Farbenton solcher Stellen durch das diffus im Gesichtsfelde verbreitete schwache Licht sehr beträchtlich geändert werden.

Diese Schwierigkeiten lassen sich bei Untersuchungen über lichtschwache Theile des Spectrum nur dadurch vollständig überwinden, daß man durch den Spalt nur noch

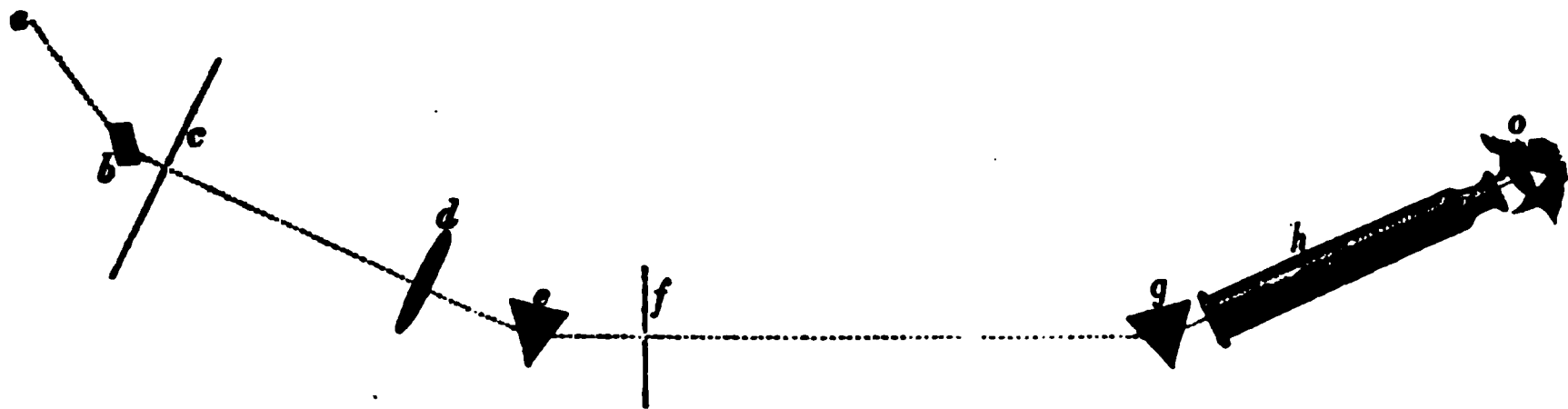


Fig. 130.

solches Licht in größerer Stärke auf das Prisma und Fernrohr fallen läßt, wie es gerade untersucht werden soll, und alles Licht anderer Art, so weit man kann, ausschließt. In einzelnen Fällen kann man dies einfach dadurch erreichen, daß man farbige Gläser zwischen die Lichtquelle und den Spalt einschaltet, z. B. rothes Glas, um die Grenze des äußersten Roth im Spectrum sichtbar zu machen. Allgemeiner und vollständiger erreicht man den Zweck, wenn man hintereinander zwei Spalten und zwei Prismen aufstellt, in der Weise, daß durch den zweiten Spalt, dessen Bild das Spectrum geben soll,

<sup>1</sup> S. oben S. 26 und 177.







































sich die betreffende verticale und horizontale Columne schneiden, ist die Mischfarbe angegeben, welche übrigens immer bei verändertem Mischungsverhältnisse durch die in der Spectralreihe dazwischenliegenden Farben in jede der beiden einfachen Farben der Mischung übergehen kann.

	Violet	Indigblau	Cyanblau	Blaugrün	Grün	Grüngelb	Gelb
Roth	Purpur	dk. Rosa	wfs. Rosa	Weiss	wfs. Gelb	Goldgelb	Orange
Orange	dk. Rosa	wfs. Rosa	Weiss	wfs. Gelb	Gelb	Gelb	
Gelb	wfs. Rosa	Weiss	wfs. Grün	wfs. Grün	Grüngelb		
Grüngelb	Weiss	wfs. Grün	wfs. Grün	Grün			
Grün	wfs. Blau	Wasserblau	Blaugrün				
Blaugrün	Wasserblau	Wasserblau					
Cyanblau	Indigblau						

dk. = dunkel.

wfs. = weißlich.

Übrigens zeigt es sich auch bei diesen Mischungen wieder, daß die Spectralfarben einen verschiedenen Sättigungsgrad der Farbe haben. So giebt Roth mit gleich hellem Grün gemischt ein röthliches Orange, Violet mit gleich hellem Grün ein dem Violet nahestehendes Indigblau. Dagegen geben Farben von gleicher Sättigung in gleicher Helligkeit gemischt auch Mischfarben, die von ihren beiden Constituenten ungefähr um gleichviel verschieden sind.

Durch Mischung von mehr als zwei homogenen Lichtern bekommen wir 280 also keine neuen Farbeneindrücke mehr, sondern die Zahl derselben ist durch die Mischungen je zweier einfacher Farben schon erschöpft; ja wir haben bei den letzteren Mischungen gefunden, daß die meisten Mischfarben durch verschiedene Paare von einfachen Farben erzeugt werden konnten. Die Mischungen von zusammengesetzten Farben haben im allgemeinen dasselbe Ergebniss, wie die Mischung der ihnen ähnlichen Spectralfarben; nur fällt die Mischung um so weißlicher aus, als die in die Mischung eintretenden Farben selbst schon weißlicher sind als Spectralfarben.

Somit führen alle möglichen Combinationen von Ätherwellensystemen verschiedener Schwingungsdauer nur zu einer verhältnißmäßig geringen Anzahl verschiedenartiger Erregungszustände des Sehnervenapparats, die sich in verschiedenen Farbenempfindungen zu erkennen geben. Und zwar unterscheiden wir in der Empfindung und demgemäß auch in der Sprache nicht mehr als dreierlei Arten von Unterschieden in dem Aussehen verschieden beleuchteter Theile des Sehfeldes, welche wir bezeichnen können als

- 1. Unterschiede der Helligkeit,
- 2. Unterschiede des Farbentons,
- 3. Unterschiede der Farbensättigung.

Die gesättigtesten objectiven Farben, die wir kennen, sind uns in der Reihe der Spectralfarben gegeben. Die Enden dieser Reihe können wir zusammenschließen durch das aus Mischung von Roth und Violet entstehende



That unterscheiden wir bei jeder Art der Beleuchtung weisse Körper sicher als solche, wenn es auch vorkommen kann, daß wir Körper für weifs halten, die bei Sonnenbeleuchtung besehen uns schwach farbig erscheinen, der vorher gebrauchten künstlichen Beleuchtung ähnlich. So halten wir bei Kerzenbeleuchtung gelegentlich auch gelbliche Papiere oder Zeuge für weifs.

Nun ist die Sonne bei weitem die reichlichste und mächtigste Lichtquelle, die wir kennen, und bei deren Beleuchtung wir am häufigsten und meisten unser Auge brauchen, die auch alle Unterschiede der Färbung am klarsten hervortreten läßt, namentlich nach der Seite der blauen Töne. Wir betrachten daher auch als vorzugsweise weifs die Farbe des vollen Sonnenlichts. Schwache Farbenabweichungen einer andern Lichtquelle von dem Sonnenlicht, oder die kleinen Abweichungen in der Färbung des Tageslichts, die dadurch entstehen, daß dasselbe bald von der Sonne direct, bald vom blauen Himmel, bald von beleuchteten Wolken, bald von dicken grauen Wolkenschichten herrührt, bemerken wir entweder nur bei grösserer Aufmerksamkeit, oder auch wohl gar nicht, wenn wir nicht Gelegenheit haben die verschiedenen Beleuchtungsweisen unmittelbar hinter einander zu sehen. Hierbei wirken auch die Ermüdungsvorgänge im Auge mit, die wir in der Lehre von den Nachbildern weiter unten erörtern werden. Bei stark farbiger Beleuchtung ist aber allerdings die Erinnerung an das viel gesehene Sonnenlicht in unsrem Gedächtniß treu genug, um die bestehende Abweichung der zeitweiligen Beleuchtung zu erkennen.

Wie unsicher und schwankend aber unsre Vorstellung von dem, was wir Weifs nennen, ist, zeigt sich am deutlichsten, sobald wir versuchen Weifs durch Mischung von Spectralfarben herzustellen, wenn dabei jedes andre weisse Licht ausgeschlossen ist. Wenn wir nicht daneben eine Probe von normalem Weifs des Tageslichts vor Augen haben, mit dem wir die gebildete Mischfarbe vergleichen können, so kommen wir nur zu einer groben und schwankenden Annäherung an Weifs.

Es ist meines Erachtens daher ungerechtfertigt, wenn man die grofse Bestimmtheit, welche der Begriff des objectiven Weifs, als Eigenschaft von Körpern, hat, auch auf die Lichtmischung und entsprechende Empfindung Weifs übertragen will. Allerdings können die, welche dies thun, GOETHE als Gewährsmann anführen. Als Körperfarbe ist es durch seine Lichtstärke ausgezeichnet, und als solche mag man es in bildlicher Redeweise als das ungetrübteste und reinste Licht bezeichnen. Aber wenn wir von der Beschaffenheit der objectiven Lichtquellen absehen, so ist bis jetzt noch kein einziges Kennzeichen aufgefunden worden, wodurch unter den verschiedenen Abstufungen weifslicher Farbentöne einer als das normale Weifs eine besonders ausgezeichnete Rolle spielte. Da übrigens die thierischen Organe in der Reihe der Generationen sich ihren am häufigsten eintretenden Aufgaben anpassen, so ist es allerdings nicht auffallend, daß die Farbe des Sonnenlichtes eine centrale, wenn auch nicht gerade bestimmt zu definirende Stellung im Farbensystem einnimmt.





Der Farbeindruck, den eine gewisse Quantität  $x$  beliebig gemischten Lichtes macht, kann stets auch hervorgebracht werden durch Mischung einer gewissen Quantität  $a$  weissen Lichtes und einer gewissen Quantität  $b$  einer gesättigten Farbe (Spectralfarbe oder Purpur) von bestimmtem Farbentone.

Dieser Satz beschränkt die Menge der verschiedenartigen Farbeindrücke, wenn sie auch noch unendlich groß bleibt, doch auf ein kleinere Maass, als wenn jede mögliche Combination verschiedener einfacher Lichtstrahlen einen besonderen Farbeindruck gäbe. Wollen wir die objective Natur eines gemischten Lichts vollständig bestimmen, so müssen wir angeben, wieviel Licht von jeder Grösse der Wellenlänge darin ist. Da es nun unendlich verschiedene Wellenlängen giebt, ist die physikalische Qualität eines gemischten Lichts nur darzustellen als eine Function von unendlich vielen Unbekannten. Dagegen kann der Eindruck, den beliebig gemischtes Licht auf das Auge macht, immer dargestellt werden als eine Function von nur drei Variablen, die in Zahlen ausgedrückt werden können, nämlich 1) der Quantität gesättigten farbigen Lichts, 2) der Quantität weissen Lichts, die gemischt dieselbe Farbenempfindung geben, 3) der Wellenlänge des farbigen Lichts. Dadurch gewinnen wir auch endlich ein Princip, wonach wir die Farben in eine systematische Ordnung bringen können. Abstrahirt man nämlich zunächst von den Unterschieden der Lichtstärke, so bleiben noch zwei Veranderliche übrig, von denen die Qualität der Farbe abhängt, nämlich der Farbenton und das Verhältniss des farbigen zum weissen Lichte, und wir können uns die Menge der Farben, wie die verschiedenen Werthe einer jeden Grösse, welche von zwei Variablen abhängt, in einer Ebene nach ihren zwei Dimensionen hin ausgebreitet denken. Die Reihe der gesättigten Farben ist in sich zurücklaufend, sie muß also auf einer geschlossenen Curve angebracht werden, für welche NEWTON einen Kreis, *Fig. 133*, wählte. Er selbst brachte auf seinem Farbenkreise nur sieben gesättigte Spectralfarben in Sektoren an, deren Farbenton und Breite er nach einer akustischen Analogie wählte. Für den hier verfolgten Zweck dagegen wären die gesättigten Farben in continuirlichem Übergange längs der Peripherie; und in die Mitte des Kreises Weiss zu setzen, und auf die Verbindungslinien des Mittelpunktes mit den einzelnen Punkten der Peripherie die Übergangsstufen zwischen dem Weiss und der an dem betreffenden Punkte der Peripherie stehenden Farbe anzubringen, so daß die weisslicheren unter ihnen dem Mittelpunkte, die gesättigten der Peripherie naher stehen. So erhielte man eine Farbentafel, die alle möglichen Arten gleich lichtstarker Farben in ihren continuirlichen

Fig. 133.

n

26

262



tafel, in welcher die Mischfarben nach dem Princip der Schwerpunktsconstructionen gefunden werden, eine geometrische Farbentafel nennen. Da die Lichtquanta verschiedenfarbigen Lichtes keine allgemein gültige quantitative Vergleichung durch das Auge zulassen, so darf man sich bei der Construction einer solchen Tafel vorbehalten die Einheit der Lichtquantität jeder Farbe durch die NEWTON'sche Regel der Farbenmischung selbst festzusetzen. Wenn man drei Farben beliebig wählt, von denen aber keine durch Mischung der beiden anderen erzeugt werden kann, ihnen drei beliebige Orte in der Farbentafel anweist, die nicht in einer geraden Linie liegen, und die Einheiten ihrer Lichtquanta beliebig festsetzt, so ist nachher der Ort und die Einheit des Lichtquantum jeder anderen Farbe in der Farbentafel fest bestimmt.

Construction der Farbentafel. Wenn die drei Farben  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , von denen man ausgehen will, gewählt, die Einheiten ihrer Lichtmengen und ihre Orte in der Farbentafel bestimmt sind, die wir mit  $a$ ,  $b$  und  $c$  in *Fig. 135* bezeichnen wollen, so mische man die Quantitäten  $\alpha$  der Farbe  $A$  und  $\beta$  der Farbe  $B$ , und setze die Mischfarbe in den gemeinschaftlichen Schwerpunkt der Gewichte  $\alpha$  und  $\beta$ , von denen  $\alpha$  im Punkt  $a$  und  $\beta$  im Punkt  $b$  befindlich gedacht wird. Der Schwerpunkt  $d$  liegt in der Verbindungslinie  $ab$  der beiden Gewichte und zwar so daß

$$\alpha \cdot ad = \beta \cdot bd.$$

So liegen denn überhaupt alle Mischfarben von  $A$  und  $B$  auf der Linie  $ab$ . Soll nun mit den Quantitäten  $\alpha$  und  $\beta$  der Farben  $A$  und  $B$  auch noch die Quantität  $\gamma$  der Farbe  $C$  gemischt werden, so können wir erst  $\alpha$  und  $\beta$  wie vorher gemischt denken, die Mischfarbe, deren Quantität mit  $(\alpha + \beta)$  bezeichnet werden

muß, in  $d$  eingesetzt, und nun den Schwerpunkt  $e$  der beiden Gewichte  $(\alpha + \beta)$  in  $d$  und  $\gamma$  in  $c$  construiren, welcher in der Linie  $cd$  liegen muß. Hier ist der Ort der gemeinsamen Mischfarbe, deren Quantität  $\varepsilon$  gesetzt werden muß

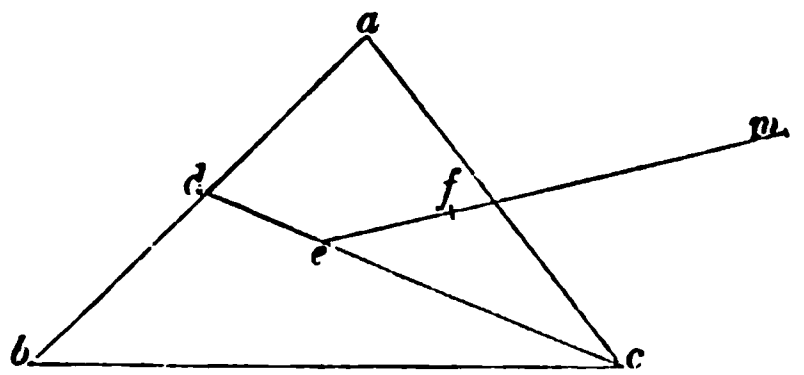
$$\varepsilon = \alpha + \beta + \gamma.$$

Dadurch ist auch die Einheit des Lichtquantum für diese Farbe bestimmt; diese ist

$$1 = \frac{\varepsilon}{\alpha + \beta + \gamma}.$$

Es ist dabei ersichtlich, daß jede aus den drei Farben  $A$ ,  $B$ ,  $C$  mischbare Farbe innerhalb des Dreiecks  $abc$  liegen muß; für jede ist in der angegebenen Weise Ort und Einheit der Lichtmenge zu bestimmen.

Denkt man sich die Orte und Maafseinheiten aller aus den drei Farben  $A$ ,  $B$  und  $C$  mischbaren Farben bestimmt, so kann man nun auch die Orte und Maafseinheiten der aus  $A$ ,  $B$  und  $C$  nicht mischbaren Farben bestimmen. Es sei  $M$  eine solche Farbe. Man kann jedenfalls eine so kleine Quantität  $\mu$  dieser Farbe wählen, daß, wenn man sie mit einer der Farben des Dreiecks mischt, die Mischfarbe auch noch innerhalb des Dreiecks liegt. Man mische sie z. B. mit der Quantität  $\varepsilon$  (diese nach der schon festgesetzten Einheit gemessen) der in  $e$  befind-



*Fig. 135.*

lichen Farbe. Denkt man sich die Quantität der Farbe  $M$  anfangs unendlich klein, und stetig steigend bis  $\mu$ , so wird die Mischfarbe anfangs die in  $e$  befindliche Farbe selbst sein, sich nach GRASSMANN's zweitem Grundsatz stetig ändern, d. h. continuirlich in die benachbarten Farben übergehen. Ist die Quantität von  $M$  bis  $\mu$  gewachsen, so möge  $f$  der Ort und  $g$  die Quantität der betreffenden Mischfarbe sein, und  $f$  noch innerhalb des Dreiecks liegen. Gemäß unserer Regel muß erstens sein

$$g = \epsilon \div \mu.$$

Dadurch ist die Quantität  $\mu$  auf die von uns festgesetzten Maasseinheiten zurückgeführt. Zweitens muß  $f$  der Schwerpunkt von  $\mu$  in  $m$  und  $\epsilon$  in  $e$  sein, d. h. es muß  $m$  in der Verlängerung der Linie  $ef$  liegen, und

$$\frac{mf}{ef} = \frac{\epsilon}{\mu}.$$

Dadurch ist also auch die Lage und die Maasseinheit der Farbe  $M$  festgesetzt und kann ebenso für alle anderen aus  $A$ ,  $B$  und  $C$  nicht mischbaren Farben bestimmt werden.

285 Beweis der Richtigkeit dieser Construction. Es muß nun gezeigt werden, daß unter Voraussetzung der Richtigkeit von GRASSMANN's Sätzen in einer so construirten Farbentafel, für welche auch die Maasseinheiten der Lichtquantität der verschiedenen Farben in der angegebenen Weise festgesetzt sind, die Mischfarbe zweier beliebigen Farben sich im Schwerpunkte der gemischten Farben vorfindet, und ihr Lichtquantum, nach den festgesetzten Einheiten gemessen, gleich ist der Summe der Quantitäten der gemischten Lichter.

Wenn wir uns die Lage der Massenpunkte  $m_1, m_2, m_3$  u. s. w. durch rechtwinkelige Coordinaten  $x_1, y_1; x_2, y_2; x_3, y_3$  u. s. w. gegeben denken, so sind die Coordinaten  $X$  und  $Y$  des Schwerpunkts gegeben durch die Gleichungen

$$\begin{aligned} X (m_1 \div m_2 \div m_3 \div \text{etc.}) &= m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \text{etc.} \\ Y (m_1 \div m_2 \div m_3 \div \text{etc.}) &= m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \text{etc.} \end{aligned}$$

Im Folgenden bezeichnen wir die Coordinaten des mit irgend einem beliebigen Buchstaben  $n$  bezeichneten Punktes mit  $x_n$  und  $y_n$ .

A. Es sollen gemischt werden zwei Farben  $E_0$  und  $E_1$ , welche selbst aus den drei ursprünglich gewählten Farben  $A, B$  und  $C$  gemischt werden können. Es seien die Quantitäten  $\epsilon_0$  und  $\epsilon_1$  der Farben  $E_0, E_1$  mischbar aus den Quantitäten  $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$  und beziehlich  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  der Farben  $A, B, C$ , so ist nach der Constructionsregel, wenn wir mit  $x_0, y_0$  die Coordinaten des Ortes von  $\epsilon_0$  mit  $x_1, y_1$  die von  $\epsilon_1$  in der Farbentafel bezeichnen

$$\begin{aligned} x_0 (\alpha_0 \div \beta_0 \div \gamma_0) &= \alpha_0 x_a + \beta_0 x_b + \gamma_0 x_c \\ x_1 (\alpha_1 \div \beta_1 \div \gamma_1) &= \alpha_1 x_a + \beta_1 x_b + \gamma_1 x_c \\ y_0 (\alpha_0 \div \beta_0 \div \gamma_0) &= \alpha_0 y_a + \beta_0 y_b + \gamma_0 y_c \\ y_1 (\alpha_1 \div \beta_1 \div \gamma_1) &= \alpha_1 y_a + \beta_1 y_b + \gamma_1 y_c \\ \epsilon_0 &= \alpha_0 \div \beta_0 \div \gamma_0 \\ \epsilon_1 &= \alpha_1 \div \beta_1 \div \gamma_1. \end{aligned}$$

Nun ist nach dem Grundsatz, daß gleichaussehende Farben gemischt gleichaussehende Mischfarben geben, die Mischfarbe von  $\epsilon_0$  und  $\epsilon_1$  dieselbe wie von

$\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$  und  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ : die Coordinaten  $X$  und  $Y$  des Ortes der letzteren Mischung sind bei der Construction der Farbentafel durch die Gleichungen

$$X(\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0 + \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) = (\alpha_0 + \alpha_1)x_a + (\beta_0 + \beta_1)x_b + (\gamma_0 + \gamma_1)x_c$$

$$Y(\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0 + \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) = (\alpha_0 + \alpha_1)y_a + (\beta_0 + \beta_1)y_b + (\gamma_0 + \gamma_1)y_c$$

gegeben oder indem man mittels der obigen sechs Gleichungen  $x_a, x_b, x_c$  und  $y_a, y_b$  und  $y_c$  eliminirt

$$X(\varepsilon_0 + \varepsilon_1) = \varepsilon_0 x_0 + \varepsilon_1 x_1$$

$$Y(\varepsilon_0 + \varepsilon_1) = \varepsilon_0 y_0 + \varepsilon_1 y_1$$

d. h. die Coordinaten  $X, Y$  der Mischfarbe von  $\varepsilon_0$  und  $\varepsilon_1$  sind dieselben, wie die des Schwerpunkts von  $\varepsilon_0$  und  $\varepsilon_1$ .

Die gesammte Lichtquantität  $q$  der Mischung von  $\varepsilon_0$  und  $\varepsilon_1$  muß wiederum gleich sein der Lichtquantität, welche bei Mischung der gleichausschenden Quantitäten  $(\alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0)$  einerseits und  $(\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1)$  andererseits entsteht, d. h.

$$q = \alpha_0 + \beta_0 + \gamma_0 + \alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = \varepsilon_0 + \varepsilon_1.$$

womit die Richtigkeit der gegebenen Constructionsregel für alle aus  $A, B$  und  $C$  mischbaren Farben auf der in gesagter Weise construirten Farbentafel erwiesen ist.

B. Wenn zwei nicht aus  $A, B$  und  $C$  mischbare Farben  $M_0$  und  $M_1$  gemischt werden sollen. Es seien  $x_0, y_0$  die Coordinaten,  $\mu_0$  die Quantität der Farbe  $M_0$ ,  $x_1$  und  $y_1$  seien die Coordinaten,  $\mu_1$  die Quantität der Farbe  $M_1$ . Es sei der Ort von  $M_0$  in der Farbentafel dadurch gefunden worden, daß die Quantität  $\mu_0$  mit der Quantität  $\varepsilon_0$  der im Punkte  $e$  befindlichen Farbe  $E$  gemischt, die Quantität  $q$  der in  $f$  befindlichen Farbe  $F$  gegeben hat, so ist

$$\varepsilon_0 + \mu_0 = q$$

$$q x_f = \varepsilon_0 x_e + \mu_0 x_0$$

$$q y_f = \varepsilon_0 y_e + \mu_0 y_0.$$

Ebenso sei der Ort der Farbe  $M_1$  dadurch gefunden worden, daß  $\mu_1$  gemischt mit der Quantität  $\varepsilon_1$  der Farbe  $E$  die Quantität  $\psi$  der im Punkte  $g$  befindlichen Farbe  $G$  gegeben hat. Es ist

$$\varepsilon_1 + \mu_1 = \psi$$

$$\psi x_g = \varepsilon_1 x_e + \mu_1 x_1$$

$$\psi y_g = \varepsilon_1 y_e + \mu_1 y_1.$$

Um den Ort der Mischfarbe von  $\mu_0$  und  $\mu_1$  in derselben Weise zu bestimmen, mische man diese mit der Quantität  $\varepsilon_0 + \varepsilon_1$  der Farbe  $E$ . Dies kommt aber nach GRASSMANN's drittem Satze darauf hinaus, daß man die Quantitäten  $q$  und  $\psi$  der Farben  $F$  und  $G$  mischt. Die Coordinaten dieser Mischfarbe seien  $\xi$  und  $v$ , gegeben durch die Gleichungen

$$(q + \psi) \xi = q x_f + \psi x_g$$

$$(q + \psi) v = q y_f + \psi y_g.$$

Dann sind die Coordinaten  $X$  und  $Y$  der Mischfarbe von  $\mu_0$  und  $\mu_1$ , deren noch unbestimmte Quantität mit  $\eta$  bezeichnet werde, gegeben durch die Gleichungen

$$(q + \psi) \xi = (\varepsilon_0 + \varepsilon_1) x_e + \eta X$$

$$(q + \psi) v = (\varepsilon_0 + \varepsilon_1) y_e + \eta Y$$

$$q + \psi = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \eta.$$

Indem man mit Hülfe der früheren Gleichungen hieraus  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $x_e$  und  $y_e$  eliminirt, erhält man:

$$\begin{aligned}\mu_0 x_0 + \mu_1 x_1 &= \eta X \\ \mu_0 y_0 + \mu_1 y_1 &= \eta Y \\ \mu_0 + \mu_1 &= \eta,\end{aligned}$$

wonach die Mischfarbe von  $\mu_0$  und  $\mu_1$  wirklich, wie verlangt wurde, im Schwerpunkte beider Massen liegt, und ihre Quantität der Summe beider Quantitäten gleich ist.

C. Wenn eine aus  $A$ ,  $B$ ,  $C$  mischbare und eine nicht mischbare Farbe gemischt werden sollen, ist ähnlich zu verfahren, wie im Falle B. Es sei  $\mu_0$  die Menge der aus  $A$ ,  $B$ ,  $C$  nicht mischbaren Farbe und ihre Coordinaten  $x_0$ ,  $y_0$  seien dadurch gefunden, daß sie mit der Quantität  $\varepsilon_0$  der im Punkte  $E$  stehenden Farbe gemischt, die Quantität  $\varphi$  der in  $F$  stehenden Farbe gegeben habe. Demnach ist

$$\begin{aligned}\mu_0 x_0 + \varepsilon_0 x_e &= \varphi x_f \\ \mu_0 y_0 + \varepsilon_0 y_e &= \varphi y_f \\ \mu_0 + \varepsilon_0 &= \varphi.\end{aligned}$$

Der Ort der Mischfarbe  $\eta$  aus  $\mu_0$  und einer aus  $A$ ,  $B$ ,  $C$  mischbaren Farbe  $\mu_1$  im Punkte  $G$  befindlich, ergibt sich, indem man  $\eta$  mit  $\varepsilon_0$  mischt, und dann nach 387 der gegebenen Constructionsregel weiter verfährt. Da aber  $\eta$  aus  $\mu_0$  und  $\mu_1$  zusammengesetzt ist, kann man auch zuerst  $\mu_0$  und  $\varepsilon_0$  mischen, wobei man nach der Voraussetzung die Quantität  $\varphi$  der in  $F$  stehenden Farbe erhält, und dann  $\varphi$  mit  $\mu_1$ . Der gemeinsame Schwerpunkt beider ist der Ort der Mischfarbe von  $\eta$  und  $\varepsilon_0$ , seine Coordinaten  $\xi$  und  $\nu$  sind durch folgende Gleichungen gegeben:

$$\begin{aligned}(\varphi + \mu_1) \xi &= \varphi x_f + \mu_1 x_g \\ (\varphi + \mu_1) \nu &= \varphi y_f + \mu_1 y_g.\end{aligned}$$

Die Coordinaten  $X$  und  $Y$  von  $\eta$  sind nun nach der aufgestellten Constructionssregel zu finden durch die Gleichungen:

$$\begin{aligned}(\varphi + \mu_1) \xi &= \eta X + \varepsilon_0 x_e \\ (\varphi + \mu_1) \nu &= \eta Y + \varepsilon_0 y_e \\ \varphi + \mu_1 &= \eta + \varepsilon_0.\end{aligned}$$

woraus schliesslich folgt:

$$\begin{aligned}\eta X &= \mu_0 x_0 + \mu_1 x_g \\ \eta Y &= \mu_0 y_0 + \mu_1 y_g \\ \eta &= \mu_0 + \mu_1.\end{aligned}$$

was zu erweisen war.

Bisher haben wir zur Bestimmung des Ortes der aus  $A$ ,  $B$ ,  $C$  nicht mischbaren Farben immer nur ihre Mischung mit einer einzigen Farbe  $E$  angewendet. Der letzte Satz zeigt aber, daß auch die Anwendung jeder anderen Farbe  $G$  dieselben Bestimmungen der Farbenorte geben würde.

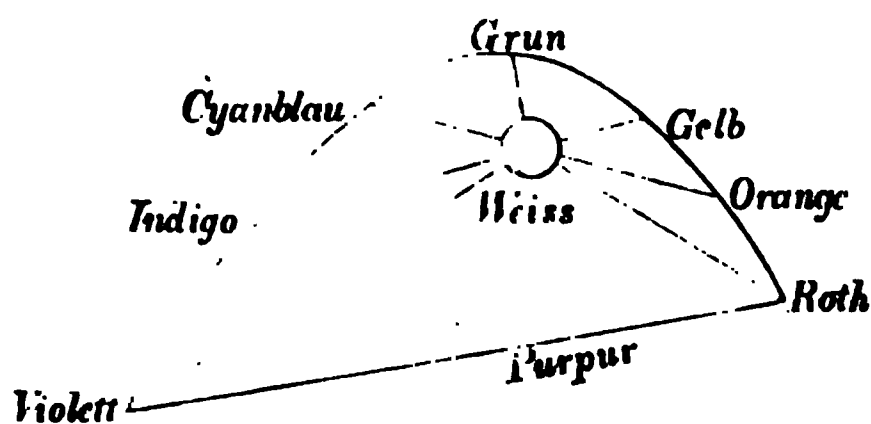
#### Veränderlichkeit der Form der Farbentafel.

Es läßt sich nicht von vorn herein übersehen, welche Gestalt die Curve

haben werde, in welche bei einer solchen Construction die einfachen Farben zu stehen kommen. Diese Curve wird, abgesehen von individuellen Verschiedenheiten der Beobachter, je nach der Wahl der drei Farben, mit denen man die Construction beginnt, und ihrer drei Maasseinheiten, die man willkürlich festsetzt, sehr mannigfach sein können. Eine Maasseinheit muß immer willkürlich bleiben, ebenso die Lage zweier Punkte, in die man zwei der gewählten Farben setzt. Erst von den anderen 4 Stücken hängt dann die Form jener Curve ab. Man kann also noch vier Bedingungen festsetzen, welche sich im allgemeinen durch eine entsprechende Wahl der vier anderen willkürlich gebliebenen Größen werden erfüllen lassen. So würde man z. B. verlangen können, daß in der Farbentafel die Entfernung fünf beliebig gewählter einfacher Farben vom Weiß gleich groß sein sollte. Es würde alsdann die Grenzcurve der Farbentafel, welche die einfachen Farben enthält, sich kaum merklich von NEWTON's Kreise unterscheiden, wie er in *Fig. 133* dargestellt ist, nur würde zwischen dem äußersten Roth und Violet die Sehne, welche dort gezeichnet ist, statt des Bogens die Fläche begrenzen müssen, weil das Purpur, welches nur aus den beiden genannten Farben gemischt werden kann, auf der geraden Verbindungslinie beider Farben liegen müßte. Außerdem folgt aus den Principien der Construction, daß jede zwei Complementärfarben an entgegengesetzten Enden eines Durchmessers des Kreises liegen müssen, weil die Mischfarbe Weiß immer in der Verbindungslinie derjenigen Farben liegen muß, aus denen sie gemischt ist. Diese Bedingung ist auch in *Fig. 133* erfüllt.

Was die festzusetzenden Maasseinheiten der Lichtquanta verschiedenfarbigen Lichts betrifft, so würden für diesen Fall, wo man das Farbenfeld durch eine Kreislinie begrenzen läßt, complementäre Mengen der Complementärfarben, d. h. solche Mengen, welche gemischt weiß geben, als gleich groß angesehen werden müssen, weil nach der Voraussetzung ihre Mischfarbe Weiß gleich weit von ihnen entfernt liegt. Der Schwerpunkt zweier Gewichte kann aber nur dann im Mittelpunkte ihrer Verbindungslinie liegen, wenn die Gewichte gleich sind. Ferner würden von anderen nicht complementären Farben solche Mengen als gleich groß angesehen werden, welche mit einer genügenden Quantität ihrer Complementärfarbe vereinigt gleiche Quantitäten Weiß geben. Aus dem, was ich früher über die verschiedene Sättigung der Spectralfarben angeführt habe, geht schon hervor, daß die Quantitäten, welche hier als gleich betrachtet werden, dem Auge durchaus nicht gleich hell erscheinen. Im nächsten Paragraphen indessen wird sich zeigen, daß Vergleichung der Helligkeit verschiedener Farben durch das Auge bei verschiedener absoluter Lichtstärke nicht ganz übereinstimmende Resultate ergiebt, während im Gegentheil, soweit GRASSMANN's Gesetze gelten, eine Festsetzung der Maasseinheiten verschiedener Farben durch die Ergebnisse der Farbenmischung von der absoluten Helligkeit unabhängig sein muß.

Will man dagegen in der Farbentafel als gleich groß solche Quantitäten verschiedenfarbigen Lichts betrachten, welche dem Auge wenigstens innerhalb gewisser Grenzen der Lichtintensität als gleich hell erscheinen, so erhält die Curve der einfachen Farben nach meinen älteren Beobachtungen<sup>1</sup> eine ganz andere Gestalt ähnlich wie in *Fig. 136*. Die ge-



*Fig. 136.*

sättigten Farben Violet und Roth müssen weiter vom Weiss entfernt sein, als ihre weniger gesättigten Complementärfarben, weil nach dem Urtheile des Auges bei der Mischung von Gelbgrün und Violet zu Weiss die Quantität violetten Lichtes viel kleiner ist, als die des gelbgrünen, und wenn das Weiss

im Schwerpunkte beider liegen soll, die kleinere Quantität Violet an einem größeren Hebelarme wirken muß, als die grössere Lichtmenge des Gelbgrün. Übrigens würden auch hier wieder die Spectralfarben an der Peripherie der Curve, das Purpur auf einer Sehne stehen müssen, Complementärfarben an den entgegengesetzten Enden von Sehnen, welche durch den Ort des Weiss gelegt sind, wie bei der kreisförmigen *Fig. 133*.

Die Zurückführung des Farbmischungsgesetzes auf Schwerpunktsconstructionen wurde zuerst von NEWTON nur als eine Art mathematischen Bildes vorgeschlagen, um die große Menge der Thatsachen dadurch auszudrücken, und er stützte sich nur darauf, daß die Folgerungen aus jener Darstellung qualitativ mit den Erfahrungsthatfachen übereinstimmten, ohne daß er quantitative Prüfungen ausgeführt hätte. Dergleichen quantitative Prüfungen sind in neuerer Zeit zunächst von MAXWELL vorgenommen worden. Er verfertigte sich eine Reihe Kreissectoren von größerem, eine andere von kleinerem Radius, welche mit Pigmenten (Zinnober, hellem Chromgelb, Pariser Grün, Ultramarin, Weiss und Schwarz) überzogen waren, und befestigte dieselben so auf einer rotirenden Scheibe, daß beliebige grössere und kleinere Stücke der einzelnen Sectoren sichtbar wurden, und zwar wurde in der Mitte der Scheibe eine andere Zusammenstellung gemacht als am Rande. Die Breite der Sectoren wurde so lange abgeändert, bis beide Farbmischungen bei schneller Rotation der Scheibe ganz gleich erschienen, dann der Winkel bestimmt, in dem die einzelnen Sectoren sichtbar waren. So lassen sich unzählig viele Farbenzusammenstellungen machen, und das Mischungsgesetz läßt sich an ihnen prüfen. Der Sinn dieser Prüfung läßt sich unserer bisher gewählten Darstellungsweise gemäß folgendermassen deutlich machen. Man construirt eine Farbentafel, in welcher drei von den Farben der Scheibe, z. B. Roth, Grün und Blau, als Grundfarben be-

<sup>1</sup> In wie weit die Helligkeit und die Unterschiedsempfindlichkeit der Farben in der Farbentafel ausgedrückt werden kann siehe § 21.



trachtet, ihre Helligkeiten gleich der willkürlichen Maafseinheit gesetzt werden. Dann sind bei jedem Mischungsversuche aus diesen drei Farben die angewendeten Helligkeiten derselben gleich dem Bogen ihres Sectors dividirt durch die Kreisperipherie zu setzen. Zuerst wird es möglich sein, aus den drei Farben ein Grau zusammenzusetzen, und gleich zu machen einem aus Schwarz und Weiß zusammengesetzten Grau. Dadurch bestimmt sich die Stelle und Maafseinheit des Weiß in der Farbentafel. Dann wird es möglich sein, aus Roth und Grün einerseits, Gelb, Weiß und Schwarz andererseits zwei gleiche graugelbe Mischungen zu erzeugen, und dadurch nach der oben gegebenen Constructionsregel den Ort und die Maafseinheit des Gelb in der Farbentafel zu bestimmen. Sobald dies geschehen ist, läßt sich durch Construction in der Farbentafel oder Rechnung für jede andere Mischung aus drei von den fünf Farben Roth, Gelb, Grün, Blau, Weiß vollständig berechnen, wie dieselbe aus anderen drei zusammengesetzt werden kann, und dies am Versuche prüfen, so daß jede solche Prüfung eine Prüfung der Principien ist, auf welche die Schwerpunktsconstructions bei der Farbenmischung gegründet sind. MAXWELL hat die Versuche in guter Übereinstimmung mit dem Gesetze gefunden. Viel empfindlichere und schärfere messende Prüfungen lassen sich mit Hülfe von Spectralfarben ausführen; die Methoden für die praktische Durchführung dieser Messungen werden unten beschrieben werden.

Grundfarben. Wir haben gesehen, daß alle Verschiedenartigkeit des Lichteindrucks als die Function dreier unabhängig veränderlicher Größen betrachtet werden kann, und hatten bisher als solche Veränderlichen 1. die Lichtstärke, 2. den Farbenton und 3. die Sättigung bezeichnet oder auch 1. die Quantität Weiß, 2. die Quantität, 3. die Wellenlänge einer Spectralfarbe. Statt dieser drei Variablen kann man aber auch andere drei einführen, wie dies schon in den gegebenen Constructionsregeln geschah, indem man alle Farben als Mischungen von veränderlichen Quantitäten dreier Farben, der sogenannten drei Grundfarben, betrachtet, zu welchen man früher meistens Roth, Gelb und Blau wählte. Wenn man diese Lehre objectiv auffassen wollte, d. h. behaupten, es gäbe im Spectrum drei objective einfache Farben, durch deren Zusammensetzung man einen gleichen Eindruck auf das Auge hervorbringen könnte, wie durch jedes beliebige andere einfache oder zusammengesetzte Licht, so wäre dies unrichtig. Es giebt keine solche drei einfachen Farben, durch deren Zusammensetzung man auch nur erträglich die zwischenliegenden Farben des Spectrum nachbilden könnte. Die letzteren erscheinen immer viel gesättigter, als die zusammengesetzten Farben. Am wenigsten passen dazu Roth, Gelb und Blau, denn wenn man als Blau eine dem Farbentone des Himmels ähnliche Farbe wählt, und nicht ein dem Grünlichen sich näherndes Blau, so kann man durch Mischung dieser Farben gar kein Grün erhalten; nimmt man ein grünliches Gelb und ein grünliches Blau, so erhält man nur ein sehr weißliches Grün. Diese drei Farben konnten nur so lange gewählt werden, als man, auf die Mischung der Pig-







den positiven Hälften der drei Coordinataxien liegt. Wenn wir durch Punkte der Coordinataxien, welche um gleiche Distanzen  $c$  von dem Nullpunkt entfernt sind, eine Ebene legen, so schneidet diese die Grenzebenen der rechtwinkligen Ecke in drei gleich langen geraden Linien und bildet die Basis einer dreikantigen Pyramide, deren Spitze der Nullpunkt ist; sie entspricht LAMBERT's Farbenpyramide. Die Schnittebene, so weit sie in der genannten Ecke liegt, würde die Form eines gleichseitigen Dreiecks haben, und von allen den geraden Linien, die von dem Nullpunkt ausgehen und die den verschiedenen Farben entsprechen sollen, geschnitten werden. Jeder Schnittpunkt einer dieser Linien mit der Ebene des Dreiecks würde den Ort der entsprechenden Farbe in diesem anzeigen, und zwar würde die Vertheilung der einzelnen Farben darin genau der durch Schwerpunktsconstructionen herstellbaren Ordnung entsprechen. In jeder solchen Ebene würden aber nur Farben gewisser Helligkeit angeordnet sein, welche durch die Summe der Werthe  $(x + y + z)$  gegeben ist. Die Gleichung der genannten Ebene wäre nämlich

$$x + y + z = c \cdot \sqrt{3}.$$

Wenn zwei Farben, deren eine die Coordinaten  $x, y, z$  hat, die andere  $\xi, \eta, \zeta$ , gemischt werden, so würde bei ihrer Verbindung die Mischfarbe die Coordinaten  $(x + \xi), (y + \eta), (z + \zeta)$  erhalten. In *Fig. 138* ist eine solche Verbindung wenigstens für zwei Coordinaten dargestellt. Wenn die eine Farbe durch  $oa = r$ , die andere durch  $oc = \rho$  dargestellt wird, und man  $\rho$  gleich und parallel  $oc$  von  $a$  aus nach  $ab$  aufträgt, so hat die Strecke  $ob$  die Projectionen  $(x + \xi), (y + \eta), (z + \zeta)$ , und repräsentirt in H. GRASSMANN's Sinne die geometrische Summe der Strecken  $oa$  und  $ab = oc$ . Man sieht leicht, daß die Strecke  $ob$  auch die Diagonale des Parallelogramms ist, von dem zwei Seiten in  $oa$  und  $oc$  gegeben sind. Die Art der Verknüpfung beider ist also dieselbe, wie bei der Construction der Resultante zweier zu componirenden Kräfte oder Geschwindigkeiten.

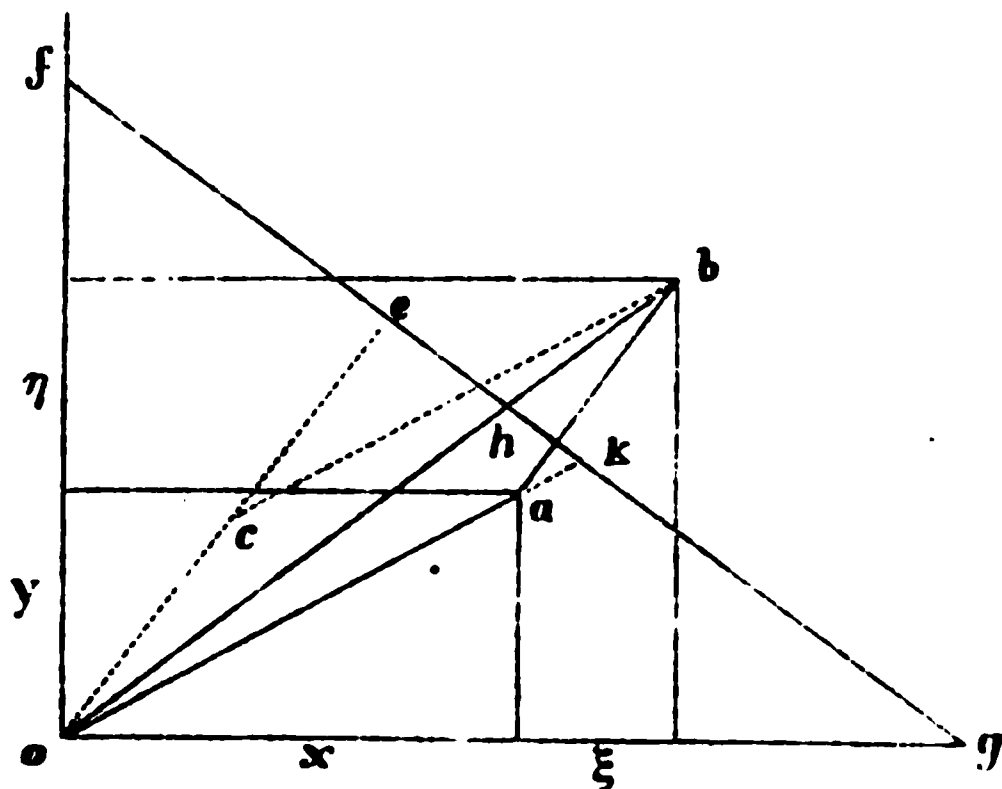


Fig. 138.

#### Übereinstimmung dieser Construction der Resultante mit der des Schwerpunkts.

Irgend eine Schnittfläche, die in der Linie  $fg$  (*Fig. 138*) die Zeichnung schneidet, möge von den Linien  $oa$  und  $oc$  in  $k$  und  $e$  getroffen werden, wobei die Längen  $ok$  und  $oe$  auch gleichzeitig die Gewichtseinheiten der in der Ebene  $fg$  zu construierenden Farbentafel darstellen sollen. Wie der Schwerpunkt zweier in  $e$  und  $k$  angebrachten Massen muß auch der Schnittpunkt  $h$  der Resultante  $ob$  zunächst in der geraden durch  $k$  und  $e$  gezogenen Linie liegen. Dann ergibt sich aus bekannten trigonometrischen Sätzen

$$ao : ab = \sin(oba) : \sin(bok)$$

oder

$$r : \rho = \sin(hoc) : \sin(hoa).$$

















Eine solche Theorie wurde zuerst von THOMAS YOUNG<sup>1</sup> aufgestellt. Die nähere Durchführung derselben ist wesentlich bedingt dadurch, daß ihr Autor den lichtempfindenden Nerven des Auges nur diejenigen Eigenschaften und Fähigkeiten zuschreiben wollte, welche wir für die motorischen Nerven der Thiere und des Menschen sicher kennen. Diese letzteren durch Versuche zu ermitteln haben wir viel günstigere Gelegenheit als bei den Empfindungsnerven, da wir die feinsten Veränderungen ihrer Erregung und Erregbarkeit durch die in den Muskeln erregten Contractionen und deren Veränderungen verhältnißmäßig leicht und deutlich erkennen und abmessen können. Was wir übrigens sonst über den Bau, die chemische Beschaffenheit, die Erregbarkeit, Leitungsfähigkeit, das elektrische Verhalten der sensiblen Nerven haben ermitteln können, stimmt so vollständig mit dem entsprechenden Verhalten der motorischen Nerven überein, daß fundamentale Verschiedenheiten in der Art ihrer Thätigkeit, soweit sie nicht von den mit ihnen verbundenen anderen organischen Apparaten abhängen, auf die sie ihre Wirkung ausüben, äußerst unwahrscheinlich sind. Diese Verhältnisse sind zum Theil schon in § 17 besprochen.

Nun kennen wir für die motorischen Nerven nur den Gegensatz zwischen dem Zustande der Ruhe und der Thätigkeit. Im ersteren kann der Nerv lange Zeit unverändert erhalten werden, ohne erheblichen Stoffwechsel oder Wärmeentwicklung; dabei bleibt der von diesem Nerven abhängige Muskel schlaff. Wenn man den Nerven reizt, entwickelt sich Wärme in ihm, stoffliche Änderungen, elektrische Oscillationen sind nachzuweisen, der Muskel contrahirt sich. Im ausgeschnittenen Nervenpräparat geht die Leistungsfähigkeit dabei schnell verloren, wahrscheinlich wegen des Verbrauchs der zur Thätigkeit nöthigen chemischen Bestandtheile. Unter Einwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs, oder besser noch des sauerstoffhaltigen arteriellen Bluts stellt sich langsam die Reizbarkeit ganz oder theilweise wieder her, ohne daß diese Wiederherstellungsprocesse Zusammenziehungen des Muskels oder die mit der Thätigkeit zusammenfallenden Änderungen des elektrischen Verhaltens in Nerv oder Muskel erregen. Auch kennen wir kein äußeres Mittel, welches diesen Wiederherstellungsproceß so schnell und intensiv hervorrufen und ihn dabei auch so plötzlich eintreten und wieder aufhören lassen könnte, wie es nöthig sein würde, wenn dieser Proceß als physiologische Grundlage kräftiger und präcis eintretender Empfindung dienen sollte.

Wenn wir unsere Annahmen bei der Ausbildung der Theorie des Farbsehens auf diese den Nerven sicher zukommenden Fähigkeiten beschränken, so ist dadurch in ziemlich festen Umrissen die Theorie von TH. YOUNG gegeben.

Die Empfindung von Dunkel entspricht dem Ruhezustand des Sehnerven, die von farbigem oder weißem Licht einer Erregung desselben. Die drei einfachen Empfindungen, welche der Erregung nur eines einzigen der drei

<sup>1</sup> TH. YOUNG. *Lectures on Natural Philosophy*. London. 1807.





















Spalte der Wellenlänge proportional ist. Man braucht also nur in derselben Weise die Entfernung der Diffractionsspectra für eine der dunklen Linien des Spectrums zu messen, deren Wellenlänge FAUZYHOFER bestimmt hat, so ergeben sich daraus leicht die Wellenlängen der beobachteten gemischten Farben.

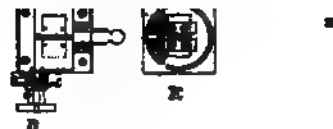


Fig. 147.

**Spectrophotometer für Farbenmischung.** Zu Messungen geeigneter ist eine „  
 Abänderung der Methode, bei welcher die Mischfarben nicht objectiv projecirt werden,  
 sondern als potentielle Bilder im Sehfelde erscheinen. Sie beruht darauf, daß, wenn  
 man ein Bild des Spectrum auf einen Schirm, der einen Spalt hat, entwirft, so daß ein  
 sehr schmaler Streifen des Spectrum scharf abgebildet auf und durch den Spalt fällt,  
 ein durch diesen Spalt blickendes Auge von allen Theilen der Prismenfläche nur Licht  
 dieser Farbe kommen sieht, so daß die ganze Fläche des Prisma als ein gleichmäßiges  
 Feld einer Farbe erscheint. Diese Methode, auf eine einzelne Farbe angewendet, ist  
 schon auf S. 301 besprochen, und dort sind auch die Vorrichtungsregeln angegeben,

















Mit der Menge  $nr$  der Farbe  $R$  ist gleich aussehend die Menge  $ng$  der Farbe  $G$ ; also wenn  $n$  ein echter Bruch, ist gleich aussehend die Menge  $r$  der Farbe  $R$  mit der Mischung  $(1 - n)r$  von  $R$  und  $ng$  von  $G$ . In der Farbenfläche ist diese Mischfarbe zu finden im Punkte  $S$  der Linie  $RG$ , wenn

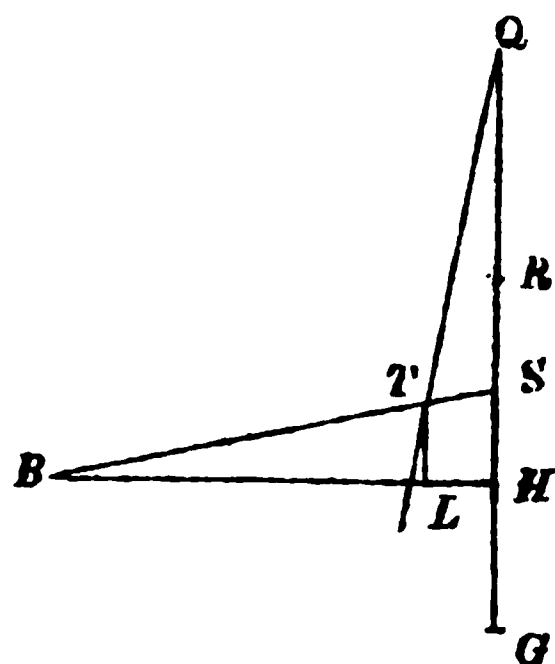
$$RS: SG \doteq n g : (1 - n)r \dots\dots\dots 1)$$

und die Quantität  $s$  der so gewonnenen Mischfarbe ist

$$s = ng + (1 - n)r.$$

Das Aussehen dieser Quantität  $s$  von der Farbe  $S$  ist für das farbenblinde Auge unabhängig von dem Werthe von  $n$ .

Wenn wir nun die Quantität  $b$  der Farbe  $B$  mit der Quantität  $s$  der Farbe  $S$  mischen, so erhalten wir eine Mischfarbe, deren Aussehen für das farbenblinde Auge unabhängig von der veränderlichen GröÙe  $n$  ist. Der Ort der Farbe sei  $T$ , ihre Menge  $t$ , so ist



**Fig. 150.**

$$t = b + s = b + ng + (1 - n)r$$

$$TS: BT = b : s = b : [ng + (1 - n)r] \dots \dots \dots 1a).$$

Fallen wir aus  $B$  das Loth  $BH$  auf  $RG$  und aus  $T$  das Loth  $TL$  auf  $BH$ ,  
nennen wir

$$\begin{array}{ll} LH = x & BH = h \\ TL = y & HG = a \\ & RG = c \end{array}$$

so ist nach 1 a)

$$\frac{x}{h} = \frac{LH}{BH} = \frac{TS}{BS} = \frac{b}{b + ng + (1 - n)r} \dots\dots\dots 1.b)$$

$$\frac{y}{h-x} = \frac{TL}{BL} = \frac{SH}{BH} = \frac{SG-a}{h}.$$

**Nun folgt aus 1)**

$$SG = c \cdot \frac{(1-n)r}{ng + (1-n)r},$$

**also**

$$\frac{y}{h-x} = \frac{(c-a)(1-n)r - any}{h[nq + (1-n)r]} \dots\dots\dots 1c).$$

wenn man aus 1b) und 1c) die veränderliche Größe  $n$  eliminirt, so erhält man eine Gleichung zwischen den rechtwinkligen Coordinaten des Punktes  $T$ , nämlich

$$0 = ybh(g-r) - x[crq + br(c-a) + abg] + bh[(c-a)r + ag] \dots 1d).$$

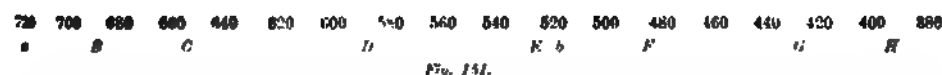








Grundempfindungen durch Messungen zu bestimmen, für diese Augen viel einfacher, als für die dreifarbigigen. Es war das schon nach einer von DONDERS vorgeschlagenen Methode durch Herrn VAN DER WYDE<sup>1</sup> geschehen, und ist dann von den Herren A. KÖNIG und C. DIETRICI<sup>2</sup> ebenfalls durchgeführt worden mit geringen Abweichungen in den Resultaten, die sich aus einer etwas anderen Wahl des als normal betrachteten Weiß zu erklären scheinen.



In Fig. 151 sind unter  $W_1$  und  $K$  die Curven für die beiden Empfindungen zweier Grünblinden dargestellt (Herr W. WALDEYER und E. BRODHUN), während  $W_2$  und  $K$  die für zwei Rothblinde (Herrn L. KRANKE und Herrn H. SAKAKY) giebt. Die Curve  $H$  endlich bezieht sich auf ein monochromatisches Auge, welches gar keine Farben und nur Helligkeiten unterscheidet. Augen der letzteren Art sind verhältnißmäßig selten und auch in andern Beziehungen als leidend und krank zu bezeichnen.

Die Erklärung der Dichromasie wurde bezweifelt, weil die augenärztlichen Untersuchungen eine größere Mannigfaltigkeit von Fällen anzuzeigen schienen, als der Annahme des Mangels einer der Grundempfindungen entspricht, wenn auch die extremen Fälle, welche man als Rothblindheit oder Grünblindheit bezeichnen kann, verhältnißmäßig häufiger constatirt wurden, als die Übergänge zwischen beiden. Aber sowohl die scheinbar weiße Stelle

<sup>1</sup> J. A. VAN DER WYDE, *Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Labor. d. Utrechtsche Hoogeschool.* 3 B. D. VII. 22. 1. 1881. — *Graef's Archiv* Bd. 23 (1), S. 1, 1882.

<sup>2</sup> A. KÖNIG und C. DIETRICI, *Sitzungsberichte der Berl. Akademie vom 29. Juli 1886.* Seite 805.



schiede bei fast allen trichromatischen Beobachtern ebenso in der Verschiedenheit der Curven der *Fig. 145* für verschiedene Beobachter. Färbung der Augenmedien würde allerdings solche Veränderungen der Curven auch hervorbringen können, weil dadurch die Lichtintensität verschiedener Theile des Spectrum in verschiedenem Maaße geändert werden würde. Aber eine so starke Absorption, wie sie vorhanden sein müßte, um den Unterschied der beiden Klassen der Trichromaten zu erklären, wo bis zu zwei Dritteln der einen Farbe bei der einen oder andern Klasse absorbiert werden müßten, würde sich nur durch eine hochgradige blaugrüne oder rosenrothe Färbung der Augenmedien erklären lassen, die sicher nicht da ist. Unter diesen Umständen kann es nicht zweifelhaft sein, daß es Fälle giebt, wo die Intensität der Erregung jeder Grundfarbe in verschiedenen Augen eine verschiedene Function der Wellenlänge des Lichts ist, und könnte hierin auch der Grund der verschiedenen Gestalt der Curven in *Fig. 149* für verschiedene Beobachter gesucht werden.

Wenn wir dabei von der Hypothese der Erregung der Netzhaut durch photochemische Zersetzungen ausgehen, so könnte man an Änderungen in der Beschaffenheit oder Mischung solcher Substanzen denken, die in den Endelementen der Netzhaut liegen, wodurch die Abhängigkeit ihrer Zersetzbarkeit von der Wellenlänge geändert werden könnte. Wie sehr eingreifende Änderungen in dieser Beziehung bei den Silbersalzen, je nach der Art der Präparation oder bei Zumischungen fremder Stoffe zu erzielen sind, haben die neueren Fortschritte der Photographie gezeigt.

Während nun die Eigenthümlichkeit der anomalen Trichromaten dadurch erklärt werden könnte, daß ihre grünempfindliche Substanz der rothempfindlichen ähnlicher geworden ist, würden sich dichromatische Augen ergeben, wenn der Unterschied beider Substanzen ganz verschwände, wobei sie entweder beide der normalen rothempfindlichen, oder beide der normalen grünempfindlichen ähnlicher würden. Die Gehirnapparate könnten dabei unverändert functioniren.

Unter diesen Umständen würde in beiden Klassen von Farbenblinden jedes Licht der normalen Endstrecke und Zwischenstrecke die Empfindung erregen, welche das normale Auge im Gelb hat, und in der Mittelstrecke würde dies Gelb durch Zumischung von Violet weißlicher werden, in der brechbareren Endstrecke nur Violet übrig bleiben. Dagegen würden sich die beiden Klassen dadurch unterscheiden, daß für die, deren Grüncurve in die Rothcurve hinübergewandert ist, die Farben des rothen Endes verhältnißmäßig lichtstark erscheinen, die des mittleren Grün dagegen lichtschwächer. Diese würden SEEBECK's Grünblinden entsprechen.

Wenn dagegen die Rothcurve zur Grüncurve hinübergewandert ist, hätten wir geringe Empfindlichkeit für das Licht des rothen Endes zu erwarten, vermehrte für das mittlere Grün. Es würde dies dem Zustande der Rothblindheit entsprechen. Dazwischen könnten Übergänge vorkommen. Doch scheinen, wie schon bemerkt, die Übergänge mindestens viel seltener zu sein, als die an beiden Grenzen liegenden Fälle.

Wenn man ein trichromatisches Auge und ein dichromatisches vergleicht von denen letzteres alle Farbengleichungen des ersteren als richtig anerkennt, und die beide NEWTON's Gesetze folgen, so würden die Schlüsse, die oben

S. 363 und 364 gezogen sind, streng richtig sein. Die dem dichromatischen Auge fehlende Grundfarbe wäre dadurch zu finden. Wie schon erwähnt, haben die älteren Farbmischungsversuche auf den rotirenden Scheiben in dieser Beziehung eine gute Übereinstimmung zwischen den Farbengleichungen der normalen Trichromaten und der Dichromaten ergeben. Diese bestätigt sich aber auch für die Mischungen von Spectralfarben in den Versuchsreihen von A. KÖNIG und C. DIETRICH. Diese haben gefunden, daß man bei der Annahme etwas anderer Grundempfindungen als der anfangs gewählten beiden Grenzfarben des Spectrum die beiden dichromatischen ziemlich gut mit denen der normalen trichromatischen Augen vereinigen kann, der älteren Hypothese entsprechend, wonach bei den Dichromaten eine der Grundempfindungen fehlen sollte. Die hierzu nöthigen Grundfarben wären, wenn wir mit  $\mathfrak{R}$ ,  $\mathfrak{G}$ ,  $\mathfrak{B}$  die der normalen Trichromaten bezeichnen:

$$\mathfrak{R} = \frac{R - 0,15 \cdot G + 0,1 \cdot V}{0,95}$$

$$\mathfrak{G} = \frac{0,25 \cdot R + G}{1,25}$$

$$\mathfrak{B} = V.$$



Fig. 152.

Das Roth hierfür wäre also etwas mehr zum Purpur hinüberziehend, als das äußerste Roth des Spectrum. Diese Curven sind in Fig. 152 dargestellt.  $\mathfrak{R}$ ,  $\mathfrak{G}$ ,  $\mathfrak{B}$  wären die Curven der von den genannten Beobachtern neu gewählten Grundempfindungen für die normalen Trichromaten,  $\mathfrak{R}_1$  und  $\mathfrak{B}_1$  für die Rothblinden,  $\mathfrak{R}_2$  und  $\mathfrak{B}_2$  für die Grünblinden. Die anomalen Trichromaten und die Monochromaten sind aber nicht in dieser Weise unter-

zubringen; bei ihnen müssen wirklich individuelle Änderungen in der Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Wellenlänge vorkommen. Die ersteren geben dem entsprechend auch weit abweichende Farbengleichungen. Die letzteren können überhaupt keine solche geben.

Die Darstellung des Farbendreiecks in *Fig. 139* bezieht sich auf diese letzte Art der Berechnung aus den Elementarfarben *R*, *G* und *B*. Es ist hierbei zu beachten, daß die beiden Endfarben des Spectrum, welche die beiden Beobachter zuerst als *R* und *V* gebraucht haben, reelle Farben sind, die nach Young's Theorie nur aus positiven Werthen der Grundfarben zusammengesetzt sein können. Ihr ursprüngliches elementares Grün ist dagegen nur eine RechnungsgröÙe, welche auch negative Bestandtheile enthalten könnte. Wenn man aber negatives Roth darin annimmt, würde dieses sich von dem positiven Roth der Rothcurve abziehen können, so weit diese reicht. Jenseits ihres brechbaren Endes aber müÙte dann auch positives Roth in Violet angenommen werden, damit nirgends negatives Roth übrig bliebe. Ähnlich, wenn man negatives Violet in erstgefundenen Grün annähme, müÙte auch das spectrale Roth eine Zumischung von positivem Violet enthalten. In dieser Weise sind die Annahmen, die man über die Zusammensetzung der erstgewählten Elementarfarben aus Grundfarben machen könnte, doch einigermassen eingeschränkt.

Was die Untersuchung Farbenblinder betrifft, so wird durch Fragen, wie sie diese oder jene Farbe nennen, natürlich nur außerordentlich wenig ermittelt werden, denn die Farbenblinden befinden sich in der Lage, das System von Namen, welches für die Empfindungen des normalen Auges zurecht gemacht ist, auf ihre Empfindungen anwenden zu müssen, für die es nicht paßt. Es paßt nicht nur nicht, weil es zu viele Namen für Farbtöne enthält, sondern in der Reihe der Spectralfarben bezeichnen wir Unterschiede als solche des Farbentons, die für die Farbenblinden nur Unterschiede der Sättigung oder der Lichtstärke sind. Ob das, was sie Gelb und Blau nennen, unserem Gelb und Blau entspricht, ist durchaus zweifelhaft. Deshalb erfolgen ihre Antworten auf Fragen über Farben meist langsam und verlegen, und erscheinen uns verwirrt und widersprechend.

Viel besser, aber doch noch sehr unzureichend ist die Methode von SEEBECK, den Farbenblinden eine Auswahl gefärbter Papiere oder Proben von Stickwolle zu geben mit der Aufforderung, sie nach ihrer Ähnlichkeit zusammen zu ordnen. Aber die Anzahl der Farbenproben müÙte ungeheuer groß sein, wenn darin die charakteristisch verwechselten Farbtöne auch genau gerade in der nöthigen Vermischung mit Weiß, und der nöthigen Helligkeit vorkommen sollen, daß die vollständige Gleichheit für das farbenblinde Auge erzielt wird. So lange aber nur Ähnlichkeit da ist, wird man sich schwer darüber verständigen, ob die Differenz eine des Farbentons, oder der Sättigung, oder der Helligkeit ist. Man wird also nur durch Zufall einige wenige bestimmte Resultate erhalten können.

Dagegen erlaubt der nach MAXWELL's Methode eingerichtete Farbenkreisel schnell die nothwendigen Data mit großer Genauigkeit zu erhalten, weil man sehr leicht eine Reihe von Farben durch Mischung erzeugen kann, die dem farbenblinden Auge vollkommen gleich erscheinen. Dabei ist die Hauptsache, die den Grundcharakter des Mangels bezeichnet, zu ermitteln, welche zwei Farben mit reinem





mässig dunklen Grau, und wo überhaupt alle Farben nur als Abstufungen der Helligkeit von bläulichem Grau erscheinen, Roth am dunkelsten. Man sieht an dieser Stelle des Sehfeldes auch die Umrisse verhältnissmässig schlecht, und erkennt nur grössere, namentlich bewegte Objecten. Aber der Farbeindruck fehlt doch noch an Stellen, wo man die Umrisse der helleren Hand, die noch weiter nach den Grenzen des Gesichtsfeldes hin liegt als das farbige Papier, erkennen kann. Man muss natürlich dafür sorgen, dass die betreffenden Papiere von vorn voll beleuchtet sind, und auch, um das Erlöschen der Farben durch Nachbilder zu vermeiden, sie hin und her bewegen dem Rande des Gesichtsfeldes parallel. Der Hintergrund, auf den sie sich projeciren, muss dunkel sein.

Weiter gegen die Mitte des Gesichtsfeldes schliesst sich daran eine Zone, in der der Unterschied von gelb und blau deutlich hervortritt, dagegen gesättigtes Roth fast schwarz oder dunkelgelbbraun, Blattgrün gelblich weiss erscheint. Zwischen diesen beiden Zonen ist für mein Auge die Grenze ziemlich scharf, ja bei schmalen Objecten scheint mir das auftauchende Gelb plötzlich etwas anders localisirt, als das vorher graue Bild hervorspringen, so dass das Gesamtbild eine Art plötzlichen Ruckes erleidet, als ob es über eine Falte der Netzhaut spränge. Endlich noch weiter der Mitte zu tritt auch der Gegensatz zwischen Roth und Grün voll zur Erscheinung.

Auch die Herren SCHELSKE<sup>1</sup>, AUBERT<sup>2</sup>, KLUG<sup>3</sup>, J. v. KRIES<sup>4</sup> haben mit geringen Abweichungen übereinstimmende Angaben gemacht. Der erstgenannte hat auch mit spectralem Licht beobachtet, wobei spectrales Gelb und Blaugrün (Linie *F'*) durch grünlichere Farbentöne hindurchgingen, ehe sie farblos wurden. Er mass auch die Winkelausdehnung, und fand für die normale Empfindung an der Nasenseite des Gesichtsfeldes 53°, an der Schläfenseite 68°, nach oben 38°, nach unten 37°. Derselbe hat auch Farbengleichungen für die rothblinde Zone der Netzhaut mittels rotirender Scheiben hergestellt, und diese dem Zustande eines dichromatischen Auges entsprechend gefunden.

Die Benennungen, welche wir den Farbeindrücken auf der Peripherie der Netzhaut geben, erklären sich am leichtesten unter der Annahme, dass in der rothblinden Zone die rothempfindliche, photochemische Substanz der grünempfindlichen ähnlich geworden sei, in der äussersten Zone alle drei einander gleich. Dieselben Bezeichnungen sind übrigens auch von den Patienten in denjenigen seltenen Fällen für die Farben des dichromatischen Systems angewendet worden, wo ein früher trichromatisches Auge durch Erkrankung dichromatisch wurde, oder von den beiden Augen desselben Individuum eines dichromatisch, das andre trichromatisch war.

<sup>1</sup> R. SCHELSKE, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* IX (3). S. 39.

<sup>2</sup> H. AUBERT, *Physiol. Optik.* S. 544.

<sup>3</sup> KLUG, *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* XXXI (1).

<sup>4</sup> J. v. KRIES, *Die Gesichtsempfindungen.* Leipzig, 1882. S. 93.



Dabei ist zu bemerken, daß der Farbenton desto eher verschwindet, je stärker die Verschiedenheit der Helligkeit von der des Grundes ist, woher die Unterschiede zwischen den Resultaten auf weißem und schwarzem Grunde rühren. Das Blau war die dunkelste der von AUBERT benutzten Farben.

Ehe die Farben ganz verschwinden, erleiden sie noch eine ähnliche Änderung des Farbentons, wie bei der Vermehrung ihrer Intensität. Roth und Grün werden nämlich sehr deutlich Gelb, Blau scheint direct in Grauweiß überzugehen. Ich komme auf diese Erscheinungen noch einmal im nächsten Paragraphen zurück.

#### Grenzen der Genauigkeit für das Farbmischungsgesetz. „

Das Gesetz der ungestörten Superposition der Elementarerregungen ist offenbar ein verhältnißmäßig recht genauer Ausdruck eines breiten Gebietes von Erscheinungen, und hatte sich den älteren Beobachtungsmethoden gegenüber vollkommen bewährt, namentlich wo man die matteren Farbengegensätze und geringen Lichtstärken von Pigmentfarben für die Versuche benutzte. Kleinere Abweichungen sind bei diesen schon deshalb nicht sicher festzustellen, weil kleine Änderungen in der Mischung des beleuchtenden Lichtes die Farbengleichungen etwas zu verändern im Stande sind. Die neueren genau messenden Versuche mit Spectralfarben scheinen aber doch zu zeigen, daß die Genauigkeit von NEWTON'S Gesetz keine unbeschränkte ist.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind an Dichromaten gemacht worden, von PREYER<sup>1</sup>, A. KÖNIG<sup>2</sup>, VAN DER WEYDE<sup>3</sup>. Sie ergaben, daß die bei schwächerer Beleuchtung weiß erscheinende Farbe des Spectrum bei größerer Helligkeit gelblicher erschien, und durch eine blaulichere ersetzt werden mußte, um dem Weiß des beleuchteten Lichtes gleich zu bleiben. Farbengleichungen zwischen einer einfachen mittleren Spectralfarbe, und einem Gemisch von zwei andern hat dann Herr E. BRODHUN<sup>4</sup> (grünblind) unter Herrn A. KÖNIG'S Leitung aufgestellt, und dabei ebenfalls gefunden, daß bei steigender Intensität mehr von der wärmeren Farbe genommen

<sup>1</sup> W. PREYER, *Pflüger's Archiv* Bd. 25. S. 31. 1881.

<sup>2</sup> A. KÖNIG, *Wiedemann's Annalen* Bd. 22. S. 561. 1884 — *Graefe's Archiv für Ophthalmol.* Bd. 30. (2). S. 155. 1884.

<sup>3</sup> A. J. VAN DER WEYDE, *Onderzoekingen. Physiol. Labor. Utrecht. R. (S.) D. VII. Bl. 1. 1881.*

<sup>4</sup> A. KÖNIG, *Sitz.-Berichte d. Akademie in Berlin*, 1887, 21 März. S. 311.



schließen versucht. Es werden darin auch drei Elementarempfindungen angenommen, die an physiologische Vorgänge in drei verschiedenen Theilen des Nervenapparats oder der „Sehsubstanz“ gebunden sind. Mindestens zwei von diesen physiologischen Processen sollen aber den Gegensatz von positiv und negativ zeigen. Die eine dieser Sehsubstanzen würde im Zustande der Erregung die Empfindung des Weiß geben, in dem der Ruhe die des Schwarz, die zweite die beiden als „Gegenfarben“ bezeichneten Empfindungen das Blau und Gelb, die dritte das zweite Paar der Gegenfarben Roth und Grün. Mit Roth bezeichnet aber Herr HERING eine Farbe, die bisher Purpur genannt wurde, die Complementärfarbe des Grünen. Man kann Elementarerregungen (das Wort in dem oben von uns definirten Sinne gebraucht) angeben, welche diesen HERING'schen Elementarempfindungen entsprächen, und aus denen sich alle anderen zusammensetzen lassen würden.

Wenn man LAMBERT's Farbenpyramide zwischen drei rechtwinkligen Coordinaten construirt denkt, so würde die die Weißempfindung darstellende Coordinate  $w$  etwa der Axenrichtung der Pyramide entsprechen, wie schon oben erörtert:

$$u = \sqrt{\frac{1}{3}} [x + y + z]$$

Die zweite Richtung, die den Gegenfarben Roth, Grün entspricht, würde in eine durch die Axe des Weiß und des Grün gelegte Ebene fallen, die dritte in eine senkrecht gegen diese durch die Axe des Weiß gelegte. Die Entfernung von der Roth-Weiß-Ebene wäre in diesem Coordinatensystem

$$v = \sqrt{\frac{1}{2}} (x - z)$$

Positives  $v$  würde bei positivem Werthe der Wurzel der Empfindung Gelb, negatives  $v$  dem Blau entsprechen. Die Entfernung von der Grün-Weiß-Ebene wäre

$$w = \frac{1}{\sqrt{6}} [x - 2y + z]$$

So wären drei lineare Functionen der Elementarempfindungen der YOUNG'schen Theorie gewonnen, welche selbst als solche gebraucht werden könnten, und der Richtung nach den von Herrn HERING verlangten Elementarempfindungen entsprechen würden. Bei positivem Werthe der Wurzeln würde  $u$  der Weißempfindung, positives  $v$  dem Gelb, positives  $w$  dem Purpurroth entsprechen, negatives  $v$  dem Blau, negatives  $w$  dem Grünen.

Diese Gleichungen gebe ich hier nur deshalb in so bestimmter Form, um an feste Vorstellungen anzuknüpfen, da die Willkürlichkeit der zu wählenden Grundfarben  $x, y, z$  übrigens hinreichende Breite der Veränderlichkeit gewähren würde, um noch recht verschiedene Deutungen der Coordinaten  $u, v, w$  im Sinne der HERING'schen Ansicht zuzulassen. Die Werthe der Coefficienten sind so gewählt, daß die  $u, v, w$  in demselben Längenmaßstab zu messen sind, wie die  $x, y, z$ .

Wenn wir für die Werthe der  $x, y, z$  nur positive Grössen zulassen, ergibt sich zunächst aus dem Werthe von  $w$ , daß jede Art von Licht die Weißempfindung in positivem Sinne erregen muß, daß im Gegentheil keinerlei Art von objectivem









nur nach der Ähnlichkeit der Empfindung schätzen soll, welche Farbe mit Weiß gemischt sei, kann man sich irren. Wir werden darüber bei den Unterschiedsempfindlichkeiten zu handeln haben. Weiter zeigt es sich, daß die Farben von sehr hoher Lichtstärke kleinere Unterschiede in der Empfindung zeigen, als die mittlerer Lichtstärke, wofür wir ebenfalls den Grund, und zwar aus YOUNG's Theorie nachweisen werden. Sie erscheinen also einander und dem Weiß ähnlicher; das drücken wir dadurch aus, daß wir sie weißlicher nennen, als die lichtschwächeren Farben derselben Art. Ich habe aber schon oben erwähnt, daß die Unterschiedsempfindungen nicht mehr in die Reihe der reinen Superpositionerscheinungen gehören, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird.

Dessen ungeachtet sind die lichtstarken einfachen Farben immer noch so gesättigt, als Farben ihrer Lichtstärke sein können, und es ist nicht nöthig, oder wenn man festen Wortsinn behalten will, nicht zulässig, sie als weniger gesättigt zu bezeichnen. Vielmehr ist nur zu sagen, daß die Empfindung für Unterschiede des Farbentons bei hoher Lichtstärke ebenso undeutlicher wird, wie dies für die verschiedenen Grade der Lichtstärke selbst schon längst constatirt ist.

Wenn die Weißempfindung, und die Empfindungen der Gegenfarben in der HERING'schen Theorie wirklich den Namen von Elementen oder Bestandtheilen der Empfindung verdienen sollen, was er doch offenbar meint, da er ihnen einzelne besondere „Sehsubstanzen“ anweist, so muß er sie entweder als die aus dem additiven Gesetz folgenden Elementarerregungen anerkennen, oder es sind ganz hypothetische Vorgänge, von deren gesonderter Existenz und Superponirbarkeit niemand etwas weiß. Dann bedeutet seine Polemik gegen GRASSMANN und mich nur, daß wir zu einer Zeit, wo seine Hypothese noch nicht erfunden war, nicht im Sinne seiner Hypothese geredet haben.

Die Vorzüge seiner eigenen Hypothese scheint Herr HERING hauptsächlich darin zu suchen, daß sie sich dem in der Sprache fixirten System von Namen, die sich, wie ich oben erörtert, wesentlich auf das System der Körperfarben beziehen, näher anschließt. Diesem Umstande verdankt sie in der That eine gewisse Gemeinfaßlichkeit und Popularität. Er selbst nimmt an, daß diese Namen einer unmittelbaren Wahrnehmung der einfachen Empfindungselemente durch eine Art innerer Anschauung entsprungen seien, und glaubt durch diese auch sehr sichere unmittelbare Kenntniss der reinen Rothempfindung, Weißempfindung u. s. w. zu haben.

In seiner Veröffentlichung von 1887 hat er sogar die Möglichkeit discentirt, statt drei oder sechs einfacher Empfindungsprocesse deren noch mehr, vielleicht unendlich viele anzunehmen und eine entsprechende Menge von „Urvalenzen“ für die einzelnen objectiven Lichtarten. Die geometrischen Darstellungen solcher Wirkungen giebt er dabei immer in solcher Weise, daß thatsächlich alle diese Valenzen von drei unabhängigen Variablen abhängen. Dagegen über diese unabhängigen Variablen, die eigentlich das Wichtigste für den ganzen Zusammenhang des Gebietes sind, giebt er so gut wie keinen Aufschluß, er sucht sie nur möglichst aus der physiologischen Sphäre zu entfernen. Ich selbst weiß mir diese ganze Reihe von Vorstellungen nur etwa so zu interpretiren, daß eine beliebige Anzahl von „Sehsubstanzen“ im Gehirn angenommen werden könnte, deren Erregungsstärke für jede eine besondere Funktion der drei Elementarerregungen wäre, jede unabhängig von den Erregungen der übrigen Sehsubstanzen, und jede für sich auch directer Wahrnehmung durch das Bewußtsein zugänglich.



Thatsache, daß die Beschaffenheit des farbigen Lichtes eine Function nur dreier Variablen ist; auf die Wahl der Grundfarben, welche erst viel später WÜNSCH und THOMAS YOUNG zu ändern suchten, hatten die Erfahrungen über gemischte Pigmente den entschiedensten Einfluß. Man meint aus Gelb und Blau Grün zusammensetzen zu können. Das ist richtig, wenn man es auf die Pigmente bezieht, aber nicht für farbiges Licht.

NEWTON setzte zuerst farbiges Licht zusammen, und zwar das des prismatischen Spectrum, benutzte aber daneben für Aufstellung der Regel der Farbenmischung die Mischung farbiger Pulver, und legte auf die Abweichungen zwischen beiden, die ihm nicht ganz entgangen zu sein scheinen, kein großes Gewicht, da ihm die experimentellen Hilfsmittel noch fehlten, die Sache genauer zu verfolgen. Er erwähnt, daß aus *subflavum* und *cyaneum* (d. h. grünlich Gelb und Cyanblau) nur ein weißliches Grün zu erzeugen sei. NEWTON stellte auch zuerst einen genaueren Ausdruck des Gesetzes der Farbenmischung hin, indem er es auf die oben besprochene graphische Darstellung und Schwerpunktsconstructionen zurückführte. Sein Gesetz entsprach den vorliegenden experimentellen Erfahrungen, eine genauere Prüfung hat er nicht versucht. Seine Darstellung des Systems der Farben auf einem Kreise war eine Erweiterung des Systems dreier objectiver Grundfarben; über das Ungenügende des letzteren Systems spricht er sich aber nirgends aus. 307

Dagegen kehrten die späteren Physiker bei ihren Versuchen, das System der Farben zu ordnen, meist zum System der drei Grundfarben zurück, so LE BLOND 1735, DU FAY 1737, TOBIAS MAYER 1758, J. H. LAMBERT 1772, D. R. HAY, J. D. FORBES. Ihre Farbensysteme sind praktisch ausgeführt meist in der Weise, daß sie bestimmte Pigmente nach bestimmten Gewichtsverhältnissen mischten. MAYER brauchte Zinnober, Königsgelb (Chromsaures Bleioxyd) und Bergblau (Kobaltglas), LAMBERT Carmin, Gummigutt, Berliner Blau (Eisencyanürcyanid). Letzterer bestimmte auch die Sättigungsverhältnisse dieser Farbstoffe, indem er die Gewichtsmengen bestimmte, in denen je zwei gemischt werden müssen, um eine Mischfarbe hervorzubringen, welche gleich weit von den Farben ihrer beiden Bestandtheile entfernt sei. Er mußte nehmen von Carmin 1 Theil, von Berlinerblau 3 Theile, von Gummigutt 10 Theile. Letztere Gewichte wählte er dann als Maass-einheiten bei Anfertigung der Mischungen. Übrigens fallen die Mischungen so weit von einander entfernter Farbstoffe immer ziemlich unansehnlich und grau aus.

Neuere Beobachtungen, welche unter Umständen, wo Mischung farbigen Lichts zu erwarten war, von den bisherigen Regeln abweichende Resultate lieferten, machten 1829 PLATEAU am Farbenkreisel, VOLKMANN 1838 an Zerstreuungsbildern, ohne aber dadurch zu einer näheren Untersuchung des Widerspruchs geführt zu werden. Ich selbst wurde durch Versuche über Mischung der Spectralfarben zu der Erkenntniß geführt, daß Mischung des Lichts und Mischung von Pigmenten verschiedene Resultate gebe, und erörterte die Gründe davon. Ich hatte hierbei die Mischung der Spectralfarben mittels des störmigen Spaltes benutzt und nur aus Gelb und Indigoblau Weiß erhalten, nicht aus irgend welchen anderen Paaren von Spectralfarben. Dies widersprach dem Mischungsgesetz von NEWTON und veranlaßte GRASSMANN zu einer ausführlichen Erörterung der Principien von NEWTON's Mischungsgesetz. Die Untersuchung der gemischten Spectralfarben nach einer besseren Methode, welche ich ausführte, hob die scheinbaren Widersprüche gegen NEWTON's Regel auf, so weit sie sich auf die Anwendbarkeit der Schwerpunktsconstructionen beziehen; dagegen mußte ich freilich die Kreisform des Farbenfeldes GRASSMANN gegenüber für unerwiesen erklären. Endlich sind die Principien von NEWTON's Mischungsgesetz experimentell geprüft worden 1857 durch MAXWELL.

TH. YOUNG's Theorie der Farbenempfindungen ist wie so vieles, was dieser bewunderungswürdige Forscher seiner Zeit voraneilend geleistet hatte, unbeachtet liegen geblieben, bis ich selbst und MAXWELL wieder auf sie aufmerksam machten. Man begnügte



hinter die erste schiebt. Man erkennt dann die zweite in ihren Umrissen ganz genau. Sieht man aber mit bloßem Auge nach den beiden Flammen hin, so erkennt man die zweite wenigstens durch den hellsten Theil der ersten nicht mehr, oder höchstens nachdem man durch längeres Hinschen die Intensität der Empfindung abgestumpft hat. Ebenso wenig erkennt man so leicht mit bloßem Auge, daß der Rand der Flammenfläche, wo man der Länge nach durch die glühende Glasschicht hindurchsieht, ein sehr viel intensiveres Licht, als die Mitte hat, wo man die kleinste Tiefe der glühenden Schicht vor sich hat. Auch dies wird ebenfalls leicht sichtbar, wenn man die Flamme in einem unbelegten Glase gespiegelt betrachtet. Dahin gehört ferner auch die Thatsache, daß die Sterne bei Tage verschwinden, daß Bilder hinter einer Glasplatte verschwinden, wenn die Glasplatte spiegelt u. s. w.

Während wir bisher die Differenz der Helligkeit constant erhielten, und nur den absoluten Werth der ganzen Helligkeit veränderten, können wir auch die Differenz in demselben Verhältniß wachsen lassen, wie die Helligkeit wächst. Man bringe auf einer durchsichtigen Glastafel eine Zeichnung mit sehr verdünnter schwarzer Tuschfarbe an, oder lasse sie mit einem schwachen Hauch von Lampenrufs anlaufen, und zeichne darin; oder besser, man suche ein photographisches auf durchsichtigem Glase ausgeführtes Bild, was theils sehr zarte, theils stärkere Schatten hat, und halte eine solche Zeichnung vor einen hellen Grund von immer steigender Helligkeit. Man wird finden, daß bei geringer Helligkeit des Grundes sehr zarte Schatten unsichtbar sind, bei größerer sichtbar werden, dann bei immer steigender Helligkeit eine ziemliche Zeit hindurch ungefähr denselben Grad von Deutlichkeit erhalten, endlich aber wieder anfangen zu verschwinden. Je stärker der Schatten in der Zeichnung ist, desto kleiner ist die Helligkeit, wo er anfängt sichtbar zu werden, und desto größer ist die Helligkeit, welche angewendet werden muß, damit er wieder verschwinde. Nun ist die objective Helligkeit des Schattens um einen ganz bestimmten Theil der ganzen Helligkeit kleiner, als die Helligkeit der lichten Stellen. Nennen wir letztere  $H$ , so können wir die Helligkeit des Schattens gleich  $(1 - \alpha) H$  setzen, wo  $\alpha$  einen für dieselbe Stelle der Zeichnung constanten ächten Bruch bezeichnet, so daß also die Differenz der Helligkeit zwischen der betreffenden Stelle der Zeichnung und dem hellen Grunde, welche  $\alpha H$  ist, mit der Helligkeit  $H$  gleichzeitig größer und kleiner wird. Trotzdem also bei steigender Helligkeit die Unterschiede der absoluten Helligkeit zwischen den verschiedenen beschatteten Theilen der Zeichnung größer werden, entsprechen diesen Unterschieden nicht mehr wahrnehmbare Unterschiede der Empfindung. Daraus geht also hervor, daß es gewisse mittlere Grade der Lichtstärke geben muß, innerhalb welcher das Auge am empfindlichsten ist für eine Veränderung der Helligkeit um kleine Bruchtheile ihrer Größe. Es sind dies die von uns gewöhnlich beim Lesen, Schreiben, Arbeiten gebrauchten, unserem Auge angenehmsten und bequemsten Grade der Helligkeit. Aber



Empfindlichkeit auch für instantane Beleuchtung durch den elektrischen Funken von der Lichtstärke ziemlich unabhängig ist. Bei dieser Beleuchtung werden nämlich, wenn sie stark genug ist, die schwarzen und weissen Sektoren für einen Augenblick sichtbar. Läßt man nun die rotirende Scheibe 312 dauernd von einer Lampe mit der Helligkeit  $L$  beleuchten und dann auch von einem elektrischen Funken mit der Helligkeit  $l$ , so hat man für einen Augenblick am Orte der weissen Sektoren die Helligkeit  $L + l$ , am Orte der schwarzen nur die Helligkeit  $L$ , und man wird die Sektoren nur erkennen, wenn  $L + l$  von  $L$  unterschieden werden kann. Veränderte man die Entfernung beider Lichtquellen von der Scheibe, so mußten  $L$  und  $l$  proportional verändert werden, um an der Grenze der Empfindlichkeit des Auges zu bleiben, woraus denn folgt, daß dasselbe Gesetz wie für constantes Licht, auch für die Wahrnehmbarkeit instantaner Lichtunterschiede gilt.

FECHNER hat die Thatsache, daß innerhalb eines grossen Intervalls der Helligkeit die kleinsten wahrnehmbaren Differenzen der Lichtempfindung (nahehin) constanten Bruchtheilen der Helligkeit entsprechen, zur Aufstellung eines allgemeineren Gesetzes benutzt, welches er als ein psychophysisches bezeichnet, und welches auch in anderen Gebieten der Sinnesempfindungen sich bewährt. So erscheinen uns namentlich Differenzen der Tonhöhe als musikalisch gleich gross, wenn die Differenzen der Schwingungsdauer gleiche Theile der ganzen Schwingungsdauer betragen. Ähnlich verhält es sich ferner nach E. H. WEBER's Untersuchungen mit unserer Fähigkeit, die Differenzen von Gewichten und Lineargrößen zu erkennen. Wir messen nun die Tonhöhe durch den Logarithmus der Schwingungszahl, so erscheint es passend die Empfindungsstärke ähnlich zu messen, indem wir in diesem wie in jenem Falle gleich deutlich wahrnehmbare Unterschiede  $dH$  der Empfindungsstärke  $E$  als gleich gross ansehen. Dann wäre also innerhalb weiter Grenzen der objectiven Helligkeit  $H$  nahehin

$$dE = A \cdot \frac{dH}{H}$$

wo  $A$  eine Constante ist. Daraus folgt durch Integration

$$E = A \cdot \log H + C,$$

wo  $C$  eine zweite Constante bezeichnet. Wenn wir für die Helligkeit  $h$  die Empfindungsstärke gleich  $e$  setzen, wird die letztere Gleichung:

$$E - e = A \cdot \log \frac{H}{h}.$$

FECHNER hat gezeigt, daß diese Art, wie das Auge Helligkeiten misst, auch bei der Aufstellung der Sterngrößen einen bestimmenden Einfluß geübt hat. Die Größenklassen der Sterne hat man bestimmt nach dem Eindruck, den sie auf das menschliche Auge machen, zunächst ohne photometrische Messungen der objectiven Lichtmenge. Erst in neuerer Zeit sind letztere hinzugekommen, und erlauben nun die objective Lichtmenge mit der ange-





Zeichnungen zeigt. Ja, was man für gewöhnlich überhaupt von dem Eigenlicht wahrnimmt, sind eigentlich nur diese Differenzen seiner Helligkeit, während die gleichmäßige Empfindung des Grundes, die vielleicht garnicht so schwach ist, nicht wahrgenommen wird, so lange sie nicht anderweitig verändert wird. In dieser Beziehung sind die Erfahrungen über die Verdunkelung des dunkelsten Gesichtsfeldes durch den absteigenden elektrischen Strom (S. 245) von Wichtigkeit. Ich werde weiter unten den Einfluss einer solchen ungleichmäßigen Beleuchtung discutiren. Die Versuche von FECHNER und VOLKMANN, mit Hülfe der besprochenen Form des FECHNER'schen Gesetzes die Intensität des Eigenlichtes zu finden, halte ich für verfrüht. Auch haben sie offenbar viel zu kleine Werthe ergeben.

Die Fleckigkeit des Eigenlichts macht sich auch sehr geltend, wenn man versucht, kleine, durch schwache Beleuchtungsunterschiede hervorgehobene Objecte zu erkennen. Man wird dieselben in vielen Fällen nicht von Flecken des Eigenlichts zu unterscheiden wissen. Hat dagegen das Object bei derselben äusseren Beleuchtung eine grössere Ausdehnung im Gesichtsfelde, so wird man auf einer solchen grösseren Fläche trotz der Flecken leichter erkennen können, dass ihre mittlere Helligkeit einen kleinen Überschuss über die mittlere Helligkeit des benachbarten Grundes hat, und dass die scheinbare Lage des helleren Flecks im Raume bei Bewegungen des Auges unverändert bleibt. Grössere Objecte erkennt man also bei kleinen Beleuchtungsunterschieden leichter als kleinere. So kann man z. B. bei schwacher Beleuchtung oft genug nicht mehr lesen, trotzdem man den Umriss der weissen Seite des Buchs, und vielleicht auch die einzelnen Zeilen ganz wohl erkennt. Ich finde es dann meist möglich, wenigstens die gröberen Züge des Lichtstaubs, die ich beim Schliessen der Augen im dunklen Felde vor mir habe, auch auf dem Papiere zu erkennen.

Übrigens ist zu bemerken, dass die Hypothese von dem netzförmigen Zusammenhange der Nervenenden in der Netzhaut, die ich auf S. 264 erörtert habe, ebenfalls die Wahrnehmung kleiner örtlicher Unterschiede von der Wahrnehmung der Intensitätsdifferenz der Erregungen benachbarter Nervenfasern abhängig macht, und zu dem Schlusse führt, dass bei abnehmender Empfindlichkeit für Bruchtheile der Lichtintensität auch die Feinheit der Unterscheidung der Örter im Gesichtsfelde beeinträchtigt werden muss.

Wegen der Existenz des Eigenlichts muss nun immer eine bestimmte objective Beleuchtungsstärke eintreten, um selbst im Gegensatze gegen einen gänzlich unbeleuchteten Grund überhaupt wahrgenommen zu werden. Noch kleinere Grade der Helligkeit üben keine wahrnehmbare Wirkung auf die Netzhaut aus. Diese kleinste unterscheidbare Beleuchtung hat FECHNER die Reizschwelle genannt. Wahrnehmbar sind nur Helligkeiten, welche über die Reizschwelle hinausgehen.

Die kleine Zunahme der Helligkeit  $dH$  dagegen, welche nöthig ist, um



Kreise auf der Scheibe. Ist  $d$  die Breite der Striche,  $r$  die Entfernung eines Punktes eines schwarzen Strichs vom Mittelpunkte der Scheibe, so ist die Helligkeit  $h$  des grauen Streifens, der bei der Rotation entsteht, wenn wir die Helligkeit der Scheibe gleich 1 setzen

$$h = 1 - \frac{d}{2r\pi}.$$

Die grauen Streifen unterscheiden sich also desto weniger von der Helligkeit der Scheibe, je größer  $r$  ist; die inneren sind dunkler, die äusseren heller und man erhält eine Folge sehr zarter Abstufungen. Beim Versuche hat man nur zu untersuchen, wie weit die Ränder der grauen Streifen noch zu erkennen sind. Man erkennt sie besser, wenn man mit dem Blicke zu den verschiedenen Stellen eines Kreises hin- und hergeht, als wenn man eine Stelle fixirt; im letzteren Falle verschwinden die schwächeren Kreise schnell wieder, auch wenn man sie vorher gesehen hat. Doch erkennt man sie gewöhnlich auch nicht gleich beim ersten Hinsehen nach der Scheibe, sondern man muß letztere erst eine Zeitlang aufmerksam betrachten. Übrigens muß, man darauf achten, daß die Scheibe schnell genug umläuft, damit die grauen Kreise ganz continuirlich erscheinen, und nicht flimmern; auch sind schnelle „ Bewegungen des Blicks zu vermeiden, welche die Striche sichtbar machen. Auf der flimmernden Scheibe erkennt man auch die schwächeren Kreise, weil die Verdunkelung sich dann nicht mehr gleichmäfsig auf die ganze Zwischenzeit von zwei Vorübergängen des schwarzen Streifens vertheilt, sondern unmittelbar nach dem Vorübergange größer, nachher schwächer ist, als sie bei gleichmäfsiger Vertheilung sein sollte. Es scheint mir deshalb nothwendig, diese Messungen von Unterschiedsschwellen nur an Scheiben auszuführen, die viel schneller umlaufen, als zur Beseitigung des Flimmerns nöthig ist. Ich habe deshalb auch nicht mehr volles Vertrauen in meine eigenen früheren Messungen, die ich in der ersten Auflage dieses Werkes mitgetheilt habe, da ich mit dem gebrauchten Apparate die vollkommene Gleichmäfsigkeit der Ringe nur noch eben erreichen konnte. Ich fand damals, daß ich an 315 hellen Sommertagen am Fenster bei Bewegung des Blicks noch einen Rand scharf sehen konnte, wo der Unterschied der Helligkeit  $\frac{1}{133}$  war, und waschen erschien mir auch noch ein Rand von  $\frac{1}{150}$ , auf Augenblicke sogar einer von  $\frac{1}{167}$  Unterschied. Mühsamer und anstrengender erschienen die Wahrnehmungen bis zu  $\frac{1}{150}$  bei directer Sonnenbeleuchtung der Scheibe. In der Mitte des Zimmers konnte ich zu derselben Zeit nur Ränder von  $\frac{1}{117}$  Unterschied wahrnehmen, den von  $\frac{1}{133}$  nur selten und unbestimmt.



flächen fast unabhängig ist von der absoluten Lichtstärke. Wesentlich darauf beruht es, daß ein geschickter Maler auf den verhältnißmäßig schwach beleuchteten Flächen eines in einem Zimmer hängenden Gemäldes sowohl den Eindruck der von grellem Sonnenlicht wie von schwachem Mondlicht beschienenen Gegenstände gut nachahmt, obgleich er weder so hohe Lichtstärken anwenden kann, wie die Wirklichkeit bei ersterem, noch so tiefe Dunkelheit, wie sie sie bei letzterem zeigt.

Nähert sich die Lichtstärke aber ihrer oberen oder unteren Grenze, wo die Unterschiedsschwellen, die gleich deutlicher Empfindung entsprechen, wachsen, so wird die Unterscheidung der zarten Schatten, und damit auch die der Modellirung der Oberflächen undeutlicher. Diejenige mittlere Helligkeit also, welche die größte Feinheit in der Wahrnehmung kleinster Helligkeitsunterschiede gewährt, ist auch diejenige, bei der wir die feinste Wahrnehmung der Modellirung der uns gegenüberstehenden Körperoberflächen haben.<sup>1</sup>

Noch in anderer Beziehung kommt es auf die Helligkeit für die Deutlichkeit des Sehens an, nämlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Objecte. Oben ist schon erwähnt, daß die Unterscheidung kleiner Gegenstände, z. B. der Buchstaben eines Buches mühsamer wird bei sehr großen, wie bei sehr kleinen Helligkeiten, während sie in breiten Stufen mittlerer Helligkeit gleich leicht merklich ist. Der Unterschied bleibt bestehen, auch wenn man durch eine Öffnung sieht, die enger ist als die Pupille, und man dadurch die breiteren Zerstreuungskreise, die bei weiter Pupille in schwacher Beleuchtung, wie die Diffractionerscheinungen und entoptischen Bilder, die bei enger Pupille in starkem Licht entstehen könnten, unverändert erhält. Sehr feine dunkle Objecte auf hellem Grunde erscheinen überhaupt nur als feine schattige Flecke, selbst wenn sie sich auf einem einzelnen Zapfen des Netzhautcentrum abbilden. Sobald ihr optisches Bild kleiner ist, als der Querschnitt des Zapfens, wird durch das dunkle Bild nur ein Bruchtheil des Lichtes für diesen Zapfen weggenommen, und es kommt also darauf an diese Verminderung um einen Bruchtheil wahrzunehmen. Ganz ähnlich verhält es sich übrigens auch unter der Annahme des communicirenden Geflechts von Nervenverästelungen (s. S. 264).

Dadurch erlangen die Abstufungen der Helligkeit und ihre Wahrnehmbarkeit eine große praktische Wichtigkeit auch für die Wahrnehmung der Formen und örtlichen Unterschiede im Gesichtsfelde, und wir sind deshalb vielfach gezwungen auf die Helligkeit der Beleuchtung zu achten, und wissen auch immer unmittelbar, ob sie zu groß oder zu klein für das Sehen feiner Objecte sei, und durch welche Art der Änderung wir sie bequemer machen könnten. Dadurch ist also auch ein bestimmter Grad der

---

<sup>1</sup> Vergleiche: H. HELMHOLTZ, *Populäre wissenschaftliche Vorträge*. Braunschweig 1876. Heft III, No. 3, *Optisches über Malerei: Helligkeitsstufen*; später wieder abgedruckt in des Autors „*Vorträge und Reden*“ Bd. I. Braunschweig. 1884.

Helligkeit, die des deutlichsten Erkennens der Körperformen, als ausgezeichnet vor allen andern charakterisirt. Er ist allerdings nicht sehr scharf abzugrenzen, weil innerhalb breiter Abstufungen der Helligkeit das Verhältniß  $dH:H$  nur sehr kleine Unterschiede zeigt; auch ist die subjective Stärke der Empfindung zeitweilig durch die Wirkung vorausgegangenen Lichts großen Veränderungen unterworfen. Indessen wird sich bei dauerndem Verweilen in gleichmässig heller Umgebung doch immer wieder der gleiche Zustand des Auges für jeden Grad der Beleuchtung, und somit auch dieselbe Empfindungsstärke herstellen müssen.

Es scheint mir wünschenswerth, diese Verhältnisse durch kurze Namen zu bezeichnen. Je kleiner für eben noch wahrnehmbare Empfindungsunterschiede das Verhältniß  $dH:H$  ist, desto deutlicher erkennen wir die Objecte. Ich werde mir erlauben das umgekehrte Verhältniß  $\frac{H}{dH}$  als die Klarheit der Beleuchtungsstärke  $H$  zu bezeichnen, und diejenige Beleuchtung, bei welcher diese GröÙe ein Maximum wird, die Lichtstärke größter Klarheit, oder klarste Beleuchtung zu nennen.

316 Täuschungen, die auf dem FECHNER'schen Gesetze beruhen. Durch die oben nachgewiesene Abhängigkeit der Empfindungsstärke von der Lichtstärke erklärt sich eine Thatsache, die mir aufgefallen ist, daß nämlich in dunklen Nächten helle Gegenstände verhältnissmässig zu ihrer Umgebung viel heller erscheinen, als bei Tage, sodaß man sich zuweilen der Voraussetzung nicht erwehren kann, sie seien selbstleuchtend. Bei sehr geringen Lichtstärken können wir nämlich die Empfindungsstärke der Lichtstärke proportional setzen, bei starker Beleuchtung dagegen ist die Empfindung für hellere Objecte relativ schwächer. Da wir nun gewöhnt sind, die Helligkeit der uns bekannten Objecte bei starker Beleuchtung zu vergleichen, so erscheinen uns bei schwacher Beleuchtung die hellen Gegenstände relativ zu hell, die dunkeln zu dunkel. Diesen Umstand benutzen auch die Maler in Mondscheinlandschaften, um den Eindruck schwacher Beleuchtung hervorzubringen. Sie heben die lichten Stellen viel greller heraus, als wenn sie Tageslicht darstellen.

321 Daraus, daß die Empfindungsstärke der objectiven Lichtstärke nicht proportional ist, erklärt sich nun weiter eine Reihe von Thatsachen, welche man bisher unter dem Namen der Irradiation zusammengefaßt hat, und welche das Gemeinsame haben, daß stark beleuchtete Flächen größer erscheinen, als sie wirklich sind, während die benachbarten dunklen Flächen um eben soviel kleiner erscheinen.

Die Erscheinungen selbst sind nach der Form der betrachteten Figuren sehr mannigfaltig, sie sind im allgemeinen am leichtesten sichtbar und am stärksten, wenn die Accommodation des Auges für den betrachteten Gegenstand nicht genau paßt, einerlei ob dieselbe zu fern oder zu nah ist, oder ob man das Auge mit einer Glaslinse, concav oder convex, bewaffnet, welche







das Helle über das Dunkle über in  $cg$ , als das Dunkle über das Helle in  $ad$ , und soviel Licht sich über den Rand hinaus verbreitet, muß natürlich innerhalb des Randes der hellen Fläche entzogen werden. So lange wir nur die objective Helligkeit berücksichtigen, würden also die hellen Flächen durch die Zerstreuungskreise nicht vergrößert erscheinen können. Im Gegentheil die Fläche, welche die volle Helligkeit zeigt, ist durch die Zerstreuungskreise kleiner geworden, wenn auch die Fläche, welche überhaupt Licht empfängt, größer geworden ist. Berücksichtigen wir nun aber, daß die Lichtempfindung für die höheren Stufen der objectiven Helligkeit garnicht oder wenig verschieden ist, so folgt daraus, daß die Verminderung des Lichts innerhalb der Fläche weniger bemerkt werden wird, als die Erleuchtung vorher dunkler Stellen jenseits ihres Randes, sodaß also für die Empfindung die Ausbreitung des Hellen allein, und nicht die des Dunkels vergrößert erscheinen muß. Am auffallendsten wird die Erscheinung sein, wenn die Fläche hell genug ist, daß innerhalb der Zerstreuungskreise die Lichtempfindung schon ihr Maximum erreicht. Wäre das z. B. in *Fig. 157* bei  $h$  der Fall, so würde die scheinbare Helligkeit bei  $h$  nicht mehr von der vollen Helligkeit im Innern der Fläche zu unterscheiden sein. Die volle Helligkeit der Fläche würde also bis  $h$  zu reichen scheinen und auch jenseits  $h$  erst sehr langsam abnehmen, ehe sie bei  $g$  ganz verschwindet. Daraus erhellt auch, warum für das zu Stande kommen der Irradiation große Helligkeit vortheilhaft ist. Desto näher nämlich an  $g$  liegt die Stelle, wo das Maximum der Lichtempfindung erreicht wird. Daraus erklärt sich auch, warum bei gesteigerter Helligkeit des Grundes, selbst wenn die Empfindung dieser Helligkeit dabei nicht weiter steigen kann, doch die Irradiation noch wächst. Proportional der Ordinate  $H$  wachsen nämlich bei gesteigerter objectiver Lichtstärke sämtliche Ordinaten der Curve  $ag$ , und desto näher an  $g$  rückt also auch die Ordinate, welche der für das Maximum der Empfindung genügenden Helligkeit entspricht. Messende Versuche über den Einfluß der Helligkeit hat PLATEAU ausgeführt, und dabei gefunden, daß die GröÙe der Irradiation nicht proportional der Helligkeit wächst, sondern in einem geringeren Maafse, und bei steigender Helligkeit sich asymptotisch einem Maximum nähert, wie es auch aus unserer Erklärung folgt.

Es ergibt sich ferner aus dieser Theorie, warum die Irradiation desto breiter wird, je größere Zerstreuungskreise sich bilden.

Da bei den meisten Personen die Zerstreuungskreise eines zu fernen Punkts nach der Höhe größer sind, als nach der Breite, erscheinen kleine helle Quadrate auf dunklem Grunde in einer für die Accommodation etwas zu großen Entfernung perpendicular verlängert, und schwarze Quadrate auf weißem Grunde horizontal verlängert. Perpendicularäre Verlängerung größerer Quadrate sehen übrigens die meisten Personen auch bei genauer Accommodation. Nach den Versuchen von A. FICK<sup>1</sup> erschien einem geübten, nicht

324

<sup>1</sup> A. FICK. *Hente und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin.* Neue Folge II. 8. 83.



(0,0045 bis 0,0054), sodafs möglicher Weise die letzteren die Breite des schwarzen Bildes bestimmt haben können. Dafs so grofse Unterschiede in den Einstellungen vorkamen, darf bei einer so subtilen Aufgabe wohl nicht wundern.

Aber auch schwarze Streifen von erkennbarer Breite, welche bei so ungenügender Accommodation betrachtet werden, dafs die Zerstreuungskreise viel breiter sind, als die Streifen, erscheinen breiter als sie sind. Dies scheint mir auf der Vertheilung des Lichts in dem Zerstreuungskreise zu beruhen. Es sei *Fig. 158*  $ab$  der Durchschnitt eines Papierblatts, auf

welches eine schwarze Linie gezeichnet ist, die hier im Querschnitt als Punkt  $c$  erscheint. Es mögen durch mangelhafte Accommodation Zerstreuungskreise vom Radius  $fc$  entstehen, so wird die Curve der Lichtstärke, in der die einzelnen Punkte der Linie  $ab$  im Netzhautbilde erscheinen, nach den in § 13 entwickelten Principien und abgesehen von den Störungen durch Asymmetrie der Linse ausgedrückt durch die Linie  $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$ . Hier erleidet nun die Lichtstärke bei  $\varphi$  und  $\delta$  einen

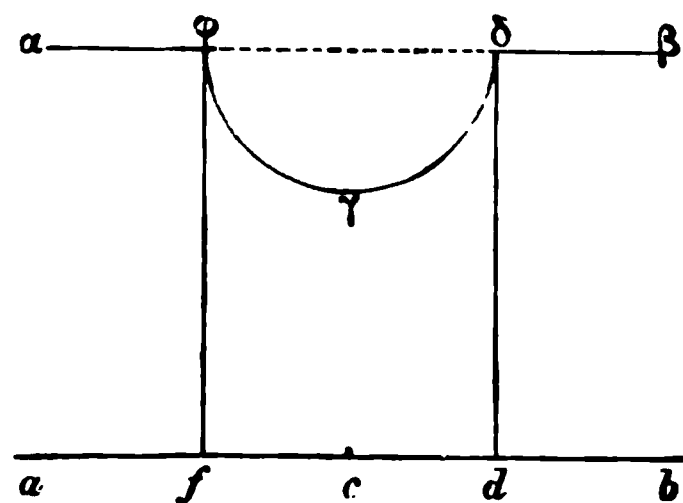


Fig. 158.

plötzlichen Abfall, und diese Stellen erscheinen deshalb als Grenzl原因en. Wäre die Linie  $c$  weiss auf schwarzem Grunde, so würde  $\alpha\beta$  als Abscissenlinie zu nehmen sein, und die negativen Ordinaten der Curve  $\varphi\gamma\delta$  würden die Lichtstärke ausdrücken; auch dann haben wir bei  $f$  und  $d$  einen plötzlichen Abfall der Lichtstärke. Davon übrigens, dafs solche Linien, in denen der Differentialquotient der Lichtstärke unendlich grofs wird, als Grenzl原因en erscheinen, kann man sich mittels der rotirenden Scheibe überzeugen. Wenn man

eine weisse Scheibe mit einem runden kreisförmigen Flecke, wie *Fig. 159*, rotiren läfst, so erscheint der schwarze Fleck bei schneller Bewegung wie ein grauer Kreis, dessen Lichtintensität durch eine ganz ähnliche Curve wie  $\alpha\varphi\gamma\delta\beta$  *Fig. 158* auszudrücken sein würde, wie aus den im folgenden Paragraphen zu entwickelnden Gesetzen hervorgeht. Der graue Kreis erscheint dabei ganz scharf begrenzt an beiden Seiten, und in seinem Innern bemerkt man kaum die ungleichen Grade der Helligkeit; der Streifen erscheint vielmehr fast gleichmäfsig grau gefärbt. Übrigens mischen

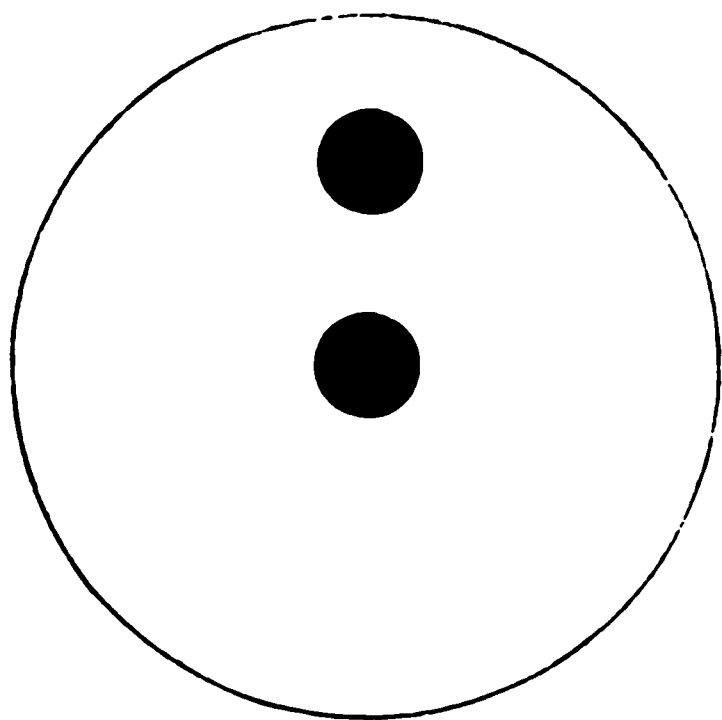


Fig. 159.

sich in die Zerstreuungsbilder schmaler schwarzer Streifen meist mehr oder weniger die Doppelbilder ein, welche durch Asymmetrie der Linse entstehen (*Fig. 85, S. 172*), wobei die Lichtvertheilung im Zer-







































und sehr lange gebraucht worden. Es ist leicht zu sehen, daß hierbei der eine Schatten nur von der einen Lichtquelle, der andre von der andern Licht empfängt. Als Schatten erscheinen sie nur, weil der umgebende Grund gleichzeitig von beiden Lichtern beleuchtet wird, und deshalb heller erscheint. Dies ist übrigens ein Hinderniß für eine sehr feine und sichere Vergleichung der Helligkeit beider Schatten, da durch die Nähe stärkeren Lichtes in großer Ausdehnung die Pupille verengert und das Auge geblendet wird.

Bei der Anwendung derselben sind außerdem gewisse Vorsichtsmaßregeln zu beachten, wenn man genaue Resultate zu erhalten wünscht. Erstens muß man dafür sorgen, daß alles andre Licht ausgeschlossen sei, namentlich auch alles von den Wänden und andern Gegenständen reflectirte, welches die beiden zu vergleichenden Flächenstücke verschieden stark beleuchten könnte. Zweitens paßt die Regel vom umgekehrten Quadrat der Entfernung streng nur für leuchtende Punkte, annähernd gut für leuchtende Körper, deren Dimensionen im Vergleich zur Entfernung der beleuchteten Fläche verschwinden. Daraus folgt aber, daß die Methode nur mit Nutzen auf kleine Lichtquellen von großer Helligkeit angewendet werden kann, welche trotz ihrer geringen Ausdehnung doch viel Licht aussenden. (Geometrische Betrachtungen, die sich auf die Theorie dieser Beleuchtungen beziehen, siehe oben S. 206—215).

Hat von einem Punkte der letzteren aus gesehen der leuchtende Körper eine merkliche scheinbare Größe im Gesichtsfelde, so können auch nicht mehr alle Strahlen desselben senkrecht die Fläche treffen. Man würde dann nur durch Integration die Gesamtwirkung berechnen können, müßte zur Ausführung dieser Rechnung aber die Lichtstärke jedes Theils der Oberfläche des leuchtenden Körpers oder aber die jedes Flächenelements seiner perspektivischen Projection auf eine dem beleuchteten Punkte concentrische Kugel kennen.

Für einfache geometrische Formen wie z. B. kreisrunde Scheiben, oder cylindrische gerade Drähte (Kohlenfäden in Glühlampen) läßt sich eine solche Rechnung zuweilen durchführen.

2) Eine andre wichtige Methode zur Verminderung der Helligkeit in bekanntem Verhältniß ist bei polarisirtem Lichte anwendbar. Geht Licht durch zwei linear polarisirende Apparate hinter einander z. B. durch doppeltbrechende Prismen oder durch NICOLSche Prismen, so ist die Intensität des austretenden Lichts dem Quadrat des Cosinus des Winkels, den die Hauptschnitte der beiden Polarisatoren mit einander bilden, proportional. Dieses Verfahren ist unter Anderem schon erwähnt S. 357 bei der Beschreibung des Farbenmischungsapparates für Spektralfarben und S. 403 der Methode zur Bestimmung der Unterschiedsschwellen verschiedener Farben.

3) Schwächung des Lichts durch AUBERTs Episkotister. Letzterer besteht aus einer schnell umlaufenden kreisrunden Doppelscheibe. Die beiden an einander gelegten Scheiben, welche sie zusammensetzen, sind in eine gleiche Anzahl von gleich breiten Sektoren getheilt, die abwechselnd ausgeschnitten und stehen geblieben sind, nach Art der schon mehrfach erwähnten MAXWELLSchen Farbenscheiben. Wenn 40 oder mehr helle und dunkle Sektoren in der Secunde das einfallende Lichtstrahlenbündel durchschneiden, erscheinen die durch dasselbe gesehenen lichten Objecte dem Auge des Beschauers dauernd gleichmäßig hell, aber ihre Helligkeit ist vermindert in dem Verhältniß in dem die Winkelbreite je eines durchsichtigen Sektors zu der Summe der Winkelbreiten eines hellen und eines undurchsichtigen Sektors steht. Das Nähere über diese Methode im nächsten Paragraphen.



Wirkung des vorderen Lichtes allein. Denn, wenn wir auch in dem letzteren günstigsten Falle mit  $A$  die Helligkeit des von vorn beleuchteten dunkleren Randes bezeichnen, mit  $a$  die geringere Helligkeit, welche der Fettfleck bei Beleuchtung von vorn vor dunklem Hintergrunde zeigt, mit  $B$  aber seine Helligkeit, wenn er nur durch das hintere Licht beleuchtet ist; so ist der Unterschied beider Helligkeiten

$$A - (B + a) = (A - a) - B$$

Aber die beiden Helligkeiten  $(A - a)$  und  $B$ , deren Unterschied wahrgenommen werden soll, sind beide noch gleichmäfsig überdeckt von der gemeinsamen Helligkeit  $a$ , wodurch die Wahrnehmung ihres Unterschieds erschwert wird.

Es ist leicht einzusehen, dafs man gröfsere Genauigkeit in der Vergleichung erreichen mufs, wenn das zweite Feld eine Helligkeit zeigt, die nur von der hinteren Lichtquelle abhängt. Diese Aufgabe liefs sich mittels des von den Herrn LUMMER und E. BRODHUN<sup>1</sup> construirten Photometers lösen, in welchem die totale Reflexion benutzt wird, um die beiden beleuchteten Flächen von einander zu scheiden.

Zur Erläuterung des von den genannten Autoren benutzten Principes gehen wir von der Fig. 164 aus. Es seien  $ll$  und  $\lambda\lambda$  diffus leuchtende Flächen,  $A$  und  $B$  sei eine derartige Combination zweier rechtwinkliger Glasprismen, dafs an gewissen Stellen ( $p q$  und  $h i$ ) der Hypotenusenfläche des Prismas  $B$  das von  $\lambda$  kommende Licht nach  $O$  reflectirt wird, während es an den übrigen Stellen ( $q h$ ) durch das Prisma hindurch nach  $r$  geht. Das Umgekehrte soll bei den von  $l$  ausgehenden Strahlen in Bezug auf die Hypotenusenfläche des Prismas  $A$  stattfinden. Accommodirt ein bei  $O$  befindliches Auge auf die Fläche  $p q h i$ , so erblickt es also den Theil  $q h$  derselben mit dem Lichte von  $l$ , den Theil  $p q$  und  $h i$  mit dem Lichte von  $\lambda$  erleuchtet. Bei einem gewissen Intensitätsverhältnifs der Felder  $l$  und  $\lambda$  wird  $p q h i$  als eine vollständig gleichmäfsig helle Fläche erscheinen.

Geeignete Prismencombinationen lassen sich in folgender Weise herstellen:

1. Die beiden Prismen  $A$  und  $B$  sind bei  $q h$  mittels einer Substanz vom Brechungsindex  $r$  des Glases zusammengekittet, während bei  $p q$  und  $h i$  die Hypotenusenflächen durch Luft getrennt sind. Um die Grenze zwischen den beiden Feldern im Moment der Gleichheit zum Verschwinden zu bringen, ist es nothwendig  $A$  und  $B$  möglichst fest an einander zu pressen. Diese Combination bietet die Möglichkeit, auch von  $r$  aus das Verschwinden zu beobachten, so dafs gleichzeitig zwei Personen einstellen können. Gleichheit der Felder findet hier statt, wenn  $l$  und  $\lambda$  dieselbe Intensität besitzen.

2. Die Hypotenusenfläche des Prismas  $B$  wird versilbert und an der Stelle  $q h$  die Silberschicht entfernt; hierauf werden die beiden Prismen mit geeignetem Kitt verbunden. Die Metallreflexion bewirkt, dafs die Gleichheit der Felder nur bei ungleicher Helligkeit von  $l$  und  $\lambda$  herbeigeführt wird. Durch Auskratzen der verschiedensten Figuren kann man die Gestalt der Felder variiren.

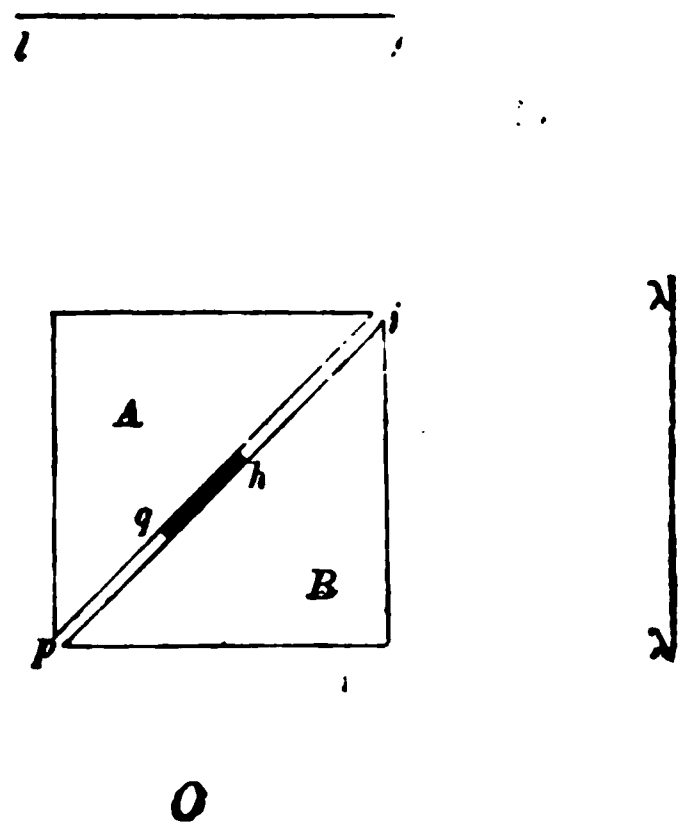


Fig. 164.

<sup>1</sup> O. LUMMER und E. BRODHUN, Photometrische Untersuchungen. Zeitschrift für Instrumentenkunde 1889. 8. 41.















### Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität.

Ich habe schon oben (S. 255 und 264) erwähnt, daß die Erkennbarkeit kleiner Gesichtsobjecte in hohem Grade von der Beleuchtungsstärke abhängt. Diese Thatsache ist seit langer Zeit bekannt. Schon TOBIAS MAYER (1754) beobachtete, daß die Sehschärfe bei schwacher Beleuchtung abnimmt, bei steigender Beleuchtung dagegen zunimmt, bis Blendung eintritt, wo sie wieder geringer wird. Bei der Wichtigkeit, welche in neuerer Zeit die Messungen der Sehschärfe für die Augenheilkunde erreicht haben, sind diese Studien vielfach wieder aufgenommen worden.

Neuere methodische Bestimmungen der Sehschärfe in verschiedenen Spectralfarben bei wechselnder Beleuchtungsstärke sind zunächst von den Herren MACÉ DE LÉPINAY und NICATI<sup>1</sup> gemacht worden, wobei sich in der That herausstellte, daß auch die Sehschärfe in den blauen Farben bei geringer Lichtstärke dieselbe Überlegenheit zeigt, wie die scheinbare Helligkeit. Dasselbe Resultat wurde von Herrn W. UTHOFF<sup>2</sup> bestätigt für eine viel breitere Abstufung der Lichtstärken, als seine Vorgänger angewendet hatten.

Für seine Versuche mit Spectralfarben hat sich derselbe ein großes mit der Farbe gleichmäfsig gefülltes Feld nach der in Fig. 128 S. 301 skizzirten Methode verschafft, indem er das Glasprisma durch ein viel größeres Flüssigkeitsprisma ersetzte, welches mit dem stark dispergirenden zimmtsauren Äthyloxyd gefüllt war. Vor der hellen farbigen Fläche war eine verschiebbare Glastafel mit den von SNELLEN neuerdings für die ärztlichen Prüfungen der Sehschärfe (S. 264) eingeführten Gesichtszeichen angebracht. Es sind dies Häkchen von der Form  und , welche vor dem hellen Grunde liegen, und von einem Assistenten gedreht werden können. Sie werden ohne Wissen des Beobachters mit ihrer Öffnung bald nach oben, oder unten, rechts oder links gekehrt, und der Beobachter muß danach angeben, wie sie stehen. Als Einheit der Sehschärfe gilt es, wenn er dies für das erste Zeichen unter einem Gesichtswinkel von 4'40'', für die zweiten unter einem von 5' thun kann. Dieser Einheitswinkel, dividirt durch den Schwinkel, unter dem die Unterscheidung möglich ist, giebt den Werth der Sehschärfe. Da bei verschiedenen Lichtstärken gearbeitet werden sollte, wurde der Einfluß der Pupillenweite beseitigt, indem der Beobachter durch eine Öffnung von 1,06 mm Durchmesser sah. Die Helligkeit wurde durch bilaterale Erweiterung des Spaltes erreicht, der das Licht zum Prisma eintreten liefs. Die Beleuchtung kam von einem Triplex-Gasbrenner.

Die Versuche ergaben für alle Farben das gemeinsame Resultat, daß die Sehschärfe bei kleiner Lichtstärke mit dieser letzteren sehr schnell steigt, dann bei steigender Beleuchtung in eine Periode immer langsamerer Zunahme übergeht. Ein Maximum der Sehschärfe wurde bei den ersten mit Gaslicht angestellten Versuchen nicht erreicht.

Indessen hat derselbe Beobachter vereint mit Herrn A. KÖNIG<sup>3</sup> die

<sup>1</sup> J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI, *Ann. d. chim. et de phys.* Sér. 5. T. 24. p. 289. 1881 und T. 30. p. 145. 1883.

<sup>2</sup> W. UTHOFF, Über das Abhängigkeitsverhältniß der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. *Graefe's Archiv.* Bd. XXXII. (1.) S. 171 und XXXVI. (1.) S. 33.

<sup>3</sup> In der zweiten der oben citirten Abhandlungen und in *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane.* Bd. I. S. 155.



Tafel der Sehschärfen für verschiedene Farben und Helligkeiten.

Wellenlänge	670 $\mu\mu$	605 $\mu\mu$	575 $\mu\mu$	505 $\mu\mu$	470 $\mu\mu$	430 $\mu\mu$
Coëfficient	2,04	9,15	6,95	0,532	0,0567	0,0084
Sehschärfe	Helligkeit					
0,13	—	—	—	0,0266	—	—
0,14	—	—	—	—	0,00567	—
0,18	—	—	—	—	—	0,00168
0,23	—	—	—	—	0,01134	—
0,24	—	—	0 3475	—	—	—
0,35	—	—	—	0,0532	—	0,00504
0,39	—	—	—	—	—	0,00672
0,40	—	0,4575	—	—	—	—
0,41	—	—	—	—	0,02268	—
0,48	—	—	—	—	—	0,00840
0,61	—	—	—	—	0,03402	—
0,67	—	—	—	0,1064	—	—
0,73	—	—	—	—	—	0,0168
0,74	—	—	—	—	0,0454	—
0,76	0,204	—	—	—	—	—
0,84	—	—	—	—	0,0567	—
0,90	—	—	—	—	—	0,0336
0,94	—	—	—	0,1596	—	—
1,02	—	—	—	—	—	0,0504
1,03	—	—	—	—	0,1134	—
1,10	—	—	—	—	—	0,0672
1,12	0,408	—	—	—	—	—
1,18	—	—	—	0,2128	—	0,0840
1,24	—	0,915	—	—	—	—
1,26	—	—	—	—	0,2268	—
1,29	—	—	—	0,266	—	—
1,32	—	—	1,0425	—	—	—
1,34	—	—	—	0,2592	—	—
1,38	—	—	—	—	0,3462	—
1,39	0,612	—	—	—	—	—
1,45	—	—	—	—	0,4536	—
1,56	—	—	—	—	0,5670	—
1,59	—	—	2,085	—	—	—
1,60	—	—	—	0,3456	—	—
1,64	0,820	—	—	0,4788	—	—
1,65	—	1,830	—	—	—	—
1,69	1,224	—	—	0,5532	—	—
1,79	1,428	—	—	—	—	—
1,80	1,632	—	—	—	—	—
1,83	—	3,66	—	—	—	—
1,84	2,04	—	2,78	—	—	—
1,91	—	—	3,475	—	—	—
1,93	—	—	—	1,064	—	—
1,94	4,08	—	—	—	—	—
1,98	—	5,49	4,17	2,66	—	—
1,99	—	7,32	—	—	—	—
2,03	10,20	—	—	4,156	—	—
2,05	—	—	—	5,32	—	—
2,08	—	—	5,56	—	—	—
2,09	16,32	—	—	—	—	—





schiedene unterstützende Nebenwirkungen gewonnen werden könnte. Auffallend ist die grössere Sicherheit, welche hierbei dichromatische Beobachter zeigen, bei denen ja übrigens auch die Aufgabe eine viel einfachere ist; wenigstens hat sich Herr E. BRODHUN in dieser Beziehung seinen Mitbeobachtern durchaus überlegen gezeigt, selbst in der Vergleichung solcher Farben, die auch seinem grünblinden Auge ungleich erscheinen.

Ich selbst muß gestehen, daß ich über eine große Unsicherheit in diesen Vergleichungen nie hinausgekommen bin, obgleich ich in der Vergleichung sehr kleiner Farbenunterschiede bei gleicher Helligkeit, und sehr kleiner Helligkeitsunterschiede bei gleicher Farbe andern Beobachtern nicht nachzustehen glaube.

Zunächst ist nun hier eine Thatsache zu erwähnen, die auch ungeübten Beobachtern leicht wahrnehmbar wird, und die jetzt unter dem Namen des PURKINJESCHEN Phänomens bezeichnet zu werden pflegt, da sie von diesem Autor zuerst erwähnt worden ist, und welche zeigt, daß bei verschiedenen Farben die Empfindung der Helligkeit eine verschiedene Function der absoluten Lichtstärke ist. Wählt man zwei verschiedene farbige Felder, die bei starker Lichtintensität gleich hell erscheinen, und reducirt man die Lichtstärke beider in gleichem Verhältniß, z. B. auf ein Zehnthel, so wird man finden, daß bei dieser geringeren Lichtstärke die blauen Farben entschieden heller erscheinen als die rothen oder grünen. PURKINJE<sup>1</sup> bemerkt dementsprechend, daß Blau bei schwächstem Licht erkannt wird, Roth erst bei stärkerem. Sodann hat DOVE<sup>2</sup> darauf aufmerksam gemacht, daß wenn man die scheinbare Helligkeit von Flächen, die mit verschiedenen Farben überzogen sind, bei verschiedener Intensität derselben Beleuchtung vergleicht, bald die eine, bald die andere heller aussieht. Im allgemeinen überwiegen bei großer Beleuchtungsstärke die weniger brechbaren rothen und gelben Farben, bei geringerer die blauen und violetten. Wenn ein rothes und ein blaues Papier bei Tageslicht gleich hell aussehen, so erscheint bei Einbruch der Nacht das blaue heller, das rothe oft ganz schwarz. Ebenso findet man, daß in Gemäldesammlungen bei sinkendem Abend (einen trüben Himmel und fehlende Abenddämmerung vorausgesetzt) die rothen Farben zuerst schwinden, die blauen am längsten bleiben. Auch in der dunkelsten Nacht, wenn alle anderen Farben fehlen, sieht man noch das Blau des Himmels.

Noch auffallender habe ich diese Erscheinungen gefunden, wenn man prismatische Farben vergleicht. Wenn man den in *Fig. 145* S. 352 abgebildeten Apparat zur Mischung von Spectralfarben benutzt, und vor das Feld, welches mit den beiden Farben beleuchtet ist, ein senkrechtes Stäbchen hält, so wirft dies zwei verschiedenfarbige Schatten, da die beiden beleuchtenden verschiedenfarbigen Strahlenbündel von etwas verschiedenen Richtungen, nämlich von den beiden Spalten des letzten Schirmes (*S'* in *Fig. 145*)

<sup>1</sup> PURKINJE, *Zur Physiologie der Sinne*. Bd. II. S. 109. 1825.

<sup>2</sup> DOVE, *Über den Einfluß einer weißen Beleuchtung auf die relative Intensität verschiedener Farben*. *Berl. Monatsber.* 1852. S. 69—78. — *Pogg. Ann.* LXXXV. 397—405.



































**Gesetz der Intensitätsabstufungen für verschiedene Farben  
abgeleitet.**

Wenn wir eine zusammengesetzte Farbe nur in ihrer Lichtstärke ändern, steigern wir alle ihre Bestandtheile um denselben Bruchtheil  $d\varepsilon$ , und wir haben also zu setzen:

$$dx = x \cdot d\varepsilon, \quad dy = y \cdot d\varepsilon, \quad dz = z \cdot d\varepsilon.$$

Dann wird nach unserer Hypothese

$$dE = \frac{d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \dots\dots\dots \} 5$$

Für große Intensitäten, wo, wie bemerkt,

$$X = Y = Z = k$$

einer Constanten  $k$  gleich werden, erhalten wir

$$dE = \frac{k \cdot d\varepsilon}{1 + lx + my + nz} \sqrt{3} \dots\dots\dots \} 5a$$

was den Beobachtungen über den gleichmäßigen Gang der Gröfse  $E$  bei allen Farben für hohe Lichtstärken entspricht.

Für mäßigere Lichtstärken können wir in erster Annäherung setzen

$$X = \frac{kx}{A + x}, \quad Y = \frac{ky}{B + y}, \quad Z = \frac{kz}{C + z}$$

wo  $A, B, C$  die Constanten bezeichnen, welche wir oben als die mittleren Werthe der Grundfarben des Eigenlichts gedeutet haben.

Unter dieser Voraussetzung wird

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k \sqrt{\left(\frac{x}{A + x}\right)^2 + \left(\frac{y}{B + y}\right)^2 + \left(\frac{z}{C + z}\right)^2} \} 5b$$

Die drei Brüche, die unter dem Wurzelzeichen addirt sind, können jeder für sich von Null bis  $+1$  steigen. Der höchste Werth der Wurzelgröfse, welcher eintritt, wenn alle drei Grundfarben hell genug in der Mischfarbe sind, um den Einfluß des Eigenlichts unmerklich zu machen, giebt

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = k \sqrt{3} = k \cdot (1,7320) \dots\dots\dots \} 5c$$

Dagegen wird die Gröfse

$$\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2},$$

welche als Factor in dem oben gegebenen Ausdruck für das Maß der Empfindlichkeit vorkommt, kleiner werden für geringere Lichtstärken einzelner oder aller















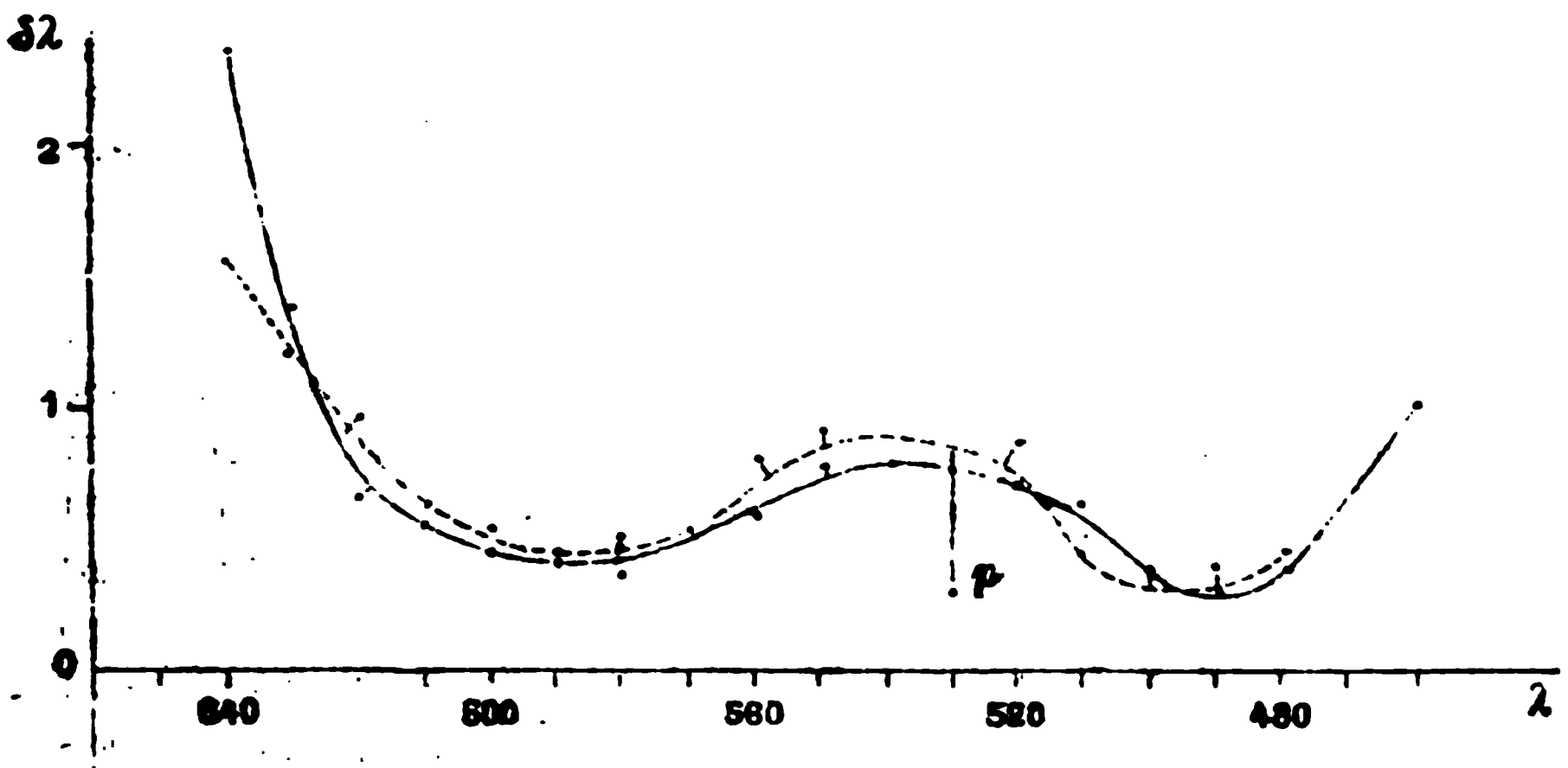


Tafel II.

Wellenlänge	$x$	$y$	$z$	$\frac{1}{x} \cdot \frac{dx}{d\lambda}$	$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{d\lambda}$	$\frac{1}{z} \cdot \frac{dz}{d\lambda}$	$dK$
640 $\mu\mu$	2,05	0,73	0,69	— 0,0413	— 0,0496	— 0,0455	(0,0363)
630 "	2,98	1,18	1,10	— 0,0294	— 0,0402	— 0,0346	0,0196
620 "	3,88	1,70	1,47	— 0,0261	— 0,0391	— 0,0359	0,0120
610 "	4,52	2,33	1,92	— 0,0094	— 0,0298	— 0,0221	0,0151
600 "	4,76	3,10	2,32	— 0,0014	— 0,0250	— 0,0173	0,0146
590 "	4,68	3,96	2,76	+ 0,0043	— 0,0226	— 0,0156	0,0158
580 "	4,43	4,86	3,18	+ 0,0060	— 0,0171	— 0,0122	0,0125
570 "	5,99	5,79	3,59	+ 0,0098	— 0,0136	— 0,0097	0,0173
560 "	3,77	6,43	3,96	+ 0,0093	— 0,0054	— 0,0082	0,0125
550 "	3,31	6,47	3,99	+ 0,0142	+ 0,0017	+ 0,0021	0,0146
540 "	2,86	6,26	3,82	+ 0,0210	+ 0,0078	+ 0,0064	0,0173
530 "	2,00	5,51	3,40	+ 0,0469	+ 0,0155	+ 0,0140	(0,0389)
520 "	1,37	4,51	2,90	+ 0,0196	+ 0,0300	+ 0,0169	0,0138
510 "	1,24	3,31	2,44	+ 0,0043	+ 0,0338	+ 0,0167	(0,0253)
500 "	1,33	2,38	2,16	— 0,0129	+ 0,0219	— 0,0027	0,0169
490 "	1,83	2,38	2,72	— 0,0287	— 0,0202	— 0,0404	0,0133
480 "	4,04	3,86	5,27	— 0,1028	— 0,0735	— 0,0877	0,0141

Mittel: 0,0176

Fig. 175.



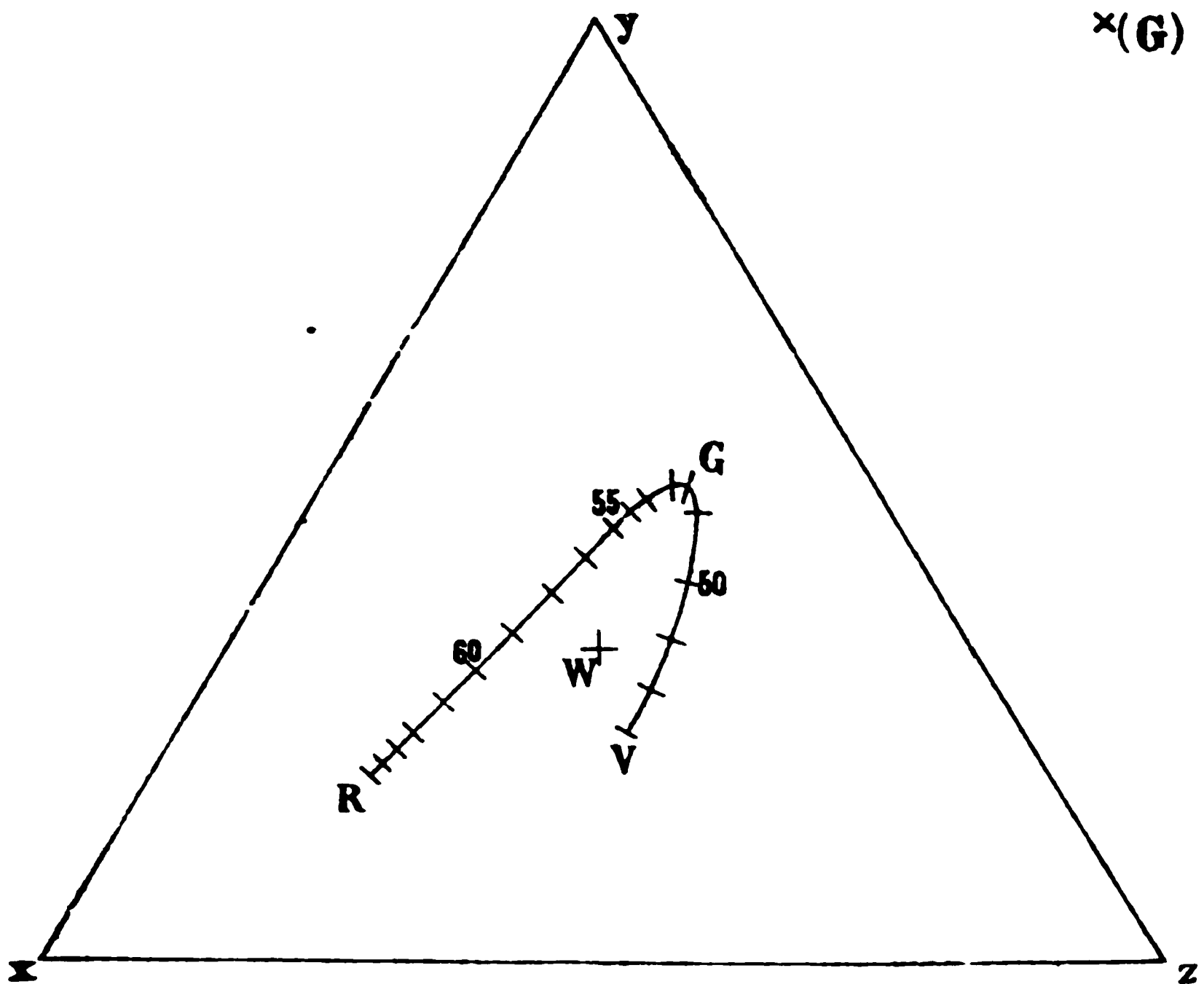
Um eine anschauliche Übersicht über die bisher erreichte Übereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie zu geben, habe ich in Fig. 175 die Werthe



wäre eine weifröthliche Abänderung der Urfarbe  $z$ . und diese letztere wäre also etwa mit dem Ultramarinblau im Farbenton zu vergleichen. Beide Farbenbestimmungen stimmten demnach mit Hrn. E. HERINGS Vermuthungen. Endlich würde die Urfarbe  $y$  im Farbenton der Stelle zwischen  $\lambda = 540 \mu\mu$  und  $560 \mu\mu$  entsprechen, wo  $x = s$  ist; das wäre im gelblichen Grün, und zwar grüner, als die Complementärfarbe des Violett, etwa dem Grün der Vegetation entsprechend.

Die starke Wölbung der Curve bei  $G$  entspricht dem spectralen Grün bei FRAUNHOFERS Linie  $E'$ . Das  $(G)$  auferhalb des Dreiecks bezeichnet das von A. KÖNIG und C. DIETERICI ursprünglich als Grundfarbe für ihre Mischungs-

Fig. 176.



versuche gewählte Grün  $G$ . Diese Farbe war übrigens auch schon auferhalb ihres nach der Analogie der farbenblinden Augen construirten Farbendreiecks  $R, G, B$  gelegen.

Da das spectrale Grün dem Rande des Farbendreiecks verhältnismäßig nahe liegt, bekommt es eine unter den übrigen Farben, die im Farbenton der Mischung zweier Urfarben entsprechen, ziemlich hervortretende Farbensättigung. Die bei  $\lambda = 580 \mu\mu$  hervortretende Unregelmäßigkeit der Empfindlichkeitscurve fällt gerade in diese starke Krümmung der Farbencurve im Grün, was die Unsicherheit der dort gemachten Messungen und Interpolationen erklärlich machen mag.

Übrigens zeigt diese Curve an, daß alle einfachen Farben die sämtlichen lichtempfindlichen Nervelemente des trichromatischen Auges gleichzeitig und mit nur mäßigen Intensitätsunterschieden erregen. Wenn wir also diese Erregungen auf die Anwesenheit dreier photochemisch zu verändernder Substanzen in der



berechnen und sich addiren bei der Erzeugung der Farbenempfindung. Dagegen wollen wir mit  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  die entsprechenden physiologischen Prozesse im dichromatischen Auge bezeichnen.

Die erste Regel, die sich aus den Beobachtungen ergeben hat, ist die, daß farbige Lichter, die den normalen Trichromaten gleich erscheinen, es auch für die Dichromaten thun. Also wenn  $x$ ,  $y$  und  $z$  gleichen Werth für zwei aus verschiedenen Spectralfarben gemischte Lichter haben, haben für beide auch  $\xi$ ,  $\eta$  und  $\zeta$  gleiche Werthe, d. h. die letzteren Größen sind Functionen von  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , und nur von diesen.

Die zweite Regel ist die, daß NEWTONS Mischungsgesetz auch für die Farben des dichromatischen Systems anwendbar ist, was zu einer Gleichung von der Form führt

$$\xi(x + z) = \xi(x) + \xi(z),$$

woraus folgt, daß die  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  nur lineare Functionen von  $x$ ,  $y$ ,  $z$  sein können, und zwar homogene lineare, da  $\xi = \eta = \zeta = 0$  sein muß, wenn  $x = y = z = 0$ . Da aber  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  nur zwei Variable vertreten sollen, so wird zwischen ihren Werthen eine Gleichung stattfinden müssen, die wiederum nur eine lineare sein kann. Wir kommen also zu drei Gleichungen folgender Form:

$$\left. \begin{aligned} 0 &= \alpha\xi + \beta\eta + \gamma\zeta \dots\dots\dots 10 \\ \xi &= p_1x + p_2y + p_3z \dots\dots\dots \\ \eta &= q_1x + q_2y + q_3z \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} 10a$$

Die Coefficienten  $p$  und  $q$  dieser letzteren Gleichungen müssen positiv sein, da  $\xi$  und  $\eta$  für alle positive Werthe von  $x$ ,  $y$  und  $z$  positiv sein müssen. Dagegen muß einer der Coefficienten der Gleichung 10 nothwendig das entgegengesetzte Vorzeichen von den beiden anderen haben, da  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\zeta$  in TH. YOUNGS Theorie nothwendig positive Größen für alle physiologisch möglichen Farbenempfindungen sein müssen.

Es sei  $\gamma$  dieser Coefficient mit abweichendem Zeichen. Schreiben wir

$$-\frac{\alpha}{\gamma} = a \text{ und } -\frac{\beta}{\gamma} = b,$$

wo also  $a$  und  $b$  positiv sind, so ergibt Gleichung 10

$$\zeta = a\xi + b\eta \dots\dots\dots 10b$$

Setzen wir weiter

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= a\xi \text{ und } \zeta_2 = b\eta \\ \zeta &= \zeta_1 + \zeta_2 \end{aligned}$$

so können wir die Empfindung  $\xi$  mit der ihr proportionalen  $\zeta_1 = a\xi$  zusammenfassen in die Empfindung einer Mischfarbe von bestimmter Zusammensetzung  $\zeta_1$  und  $\xi$ , und ebenso  $\zeta_2 = b\eta$  mit  $\eta$ . Der ganze vorhandene Farbenwerth des dichromatischen Auges erscheint dann als Mischung in veränderlichem Verhältnisse von





Farben beider Klassen von Dichrom würde zwischen den verlängerten Sei Grün schneiden, näher dem vom Rot außerhalb der Roth-Grün-Linie, deren

#### Vergleichung der Empfindlichk für Farb

Der kleinste erkennbare Bruchthe leuchtung in den Beobachtungen von l richtungen. ähnlicher Größe des Ges gleichungen betrug 0,0173. Die Gle

$$dE_1 = k$$

Der Werth von  $k$  muß, wie o versuchen, in denen die Rechnung v groß genommen werden, als bei den sichtbare Unterschiede gesucht sind. wir den Werth von  $dE$  hier auf dass obigen Tabel II (S. 455) gebraucht is

$$dE = \frac{0,017}{1,823}$$

während der aus den Werthen der T

$$dE$$

Diese Übereinstimmung kann nn Erwarten gut bezeichnet werden. Si hier ausgegangen sind, daß die Wahr auf der Wahrnehmung von Helligkeits

Eine weitere Prüfung des hier directe Mischung je zweier Spectral führen sein, bei denen das Mischung werden kann, und bei denen auch m als sie zwischen unmittelbar benachba

Die Rechnung für das dichroma tricinomatische durchgeführt, aber u eine Grundempfindung ganz fehlt. D etwa ebensogut oder schlecht, wie die eben gegebene allgemeinere Auff

formung der Formel schon übersehen, daß dabei noch eine neue C über die frei zu verfügen ist, und man wird mit deren Hilfe also bessere Übereinstimmung mit der Formel herstellen können, als mi Zahl von Constanten. Die mühsame Rechnung in diesem noch ziemlich Zustande unserer Kenntnisse des Gegenstandes durchzuführen. schien n





**Kürzeste Farbenlinien.** Die oben für den allgemeineren Werth von  $dE$  gegebene Formel Gl (4) macht es möglich, diejenigen Reihen von Farben zwischen zwei gegebenen Endfarben zu bestimmen, längs deren man die kleinste Summe wahrnehmbarer Unterschiede durchläuft, welche Reihen also den kürzesten Linien im Farbensystem entsprechen würden. Ich werde mir erlauben, für sie den Namen der kürzesten Farbenreihen zu brauchen.

Da eine vollständig genaue Formel für die kleinsten wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede, wie sie annähernd FECHNERs Gesetz giebt, noch nicht gefunden ist, will ich mich auf den Gebrauch der von FECHNER selbst noch gegebenen späteren Formel beschränken, wonach die Deutlichkeit des Unterschiedes von dem Bruche  $\frac{dJ}{A + J}$  abhängt, wenn  $J$  und  $(J + dJ)$  die beiden zu vergleichenden objectiven Lichtmengen sind,  $A$  eine von der Qualität des Lichts abhängige Constante. Diese Formel entspricht, wie wir gesehen, den Beobachtungen in einem außerordentlich ausgedehnten Theil der Scala der Helligkeiten. Für sehr kleine und sehr große Helligkeiten ist die Deutlichkeit aber etwas kleiner, als nach der Formel zu erwarten wäre.

Die von mir als wahrscheinliche Hypothese aufgestellte Formel für die Deutlichkeit des Unterschiedes zweier Farben, von denen die eine aus den Quantis der Urfarben  $x, y, z$  zusammengesetzt ist, die andere dagegen aus  $(x + dx), (y + dy), (z + dz)$  lautet

$$dE^2 = \left( \frac{dx}{a + x} \right)^2 + \left( \frac{dy}{b + y} \right)^2 + \left( \frac{dz}{c + z} \right)^2 \dots\dots\dots \Bigg\} 12$$

Hierbei ist aber zu bemerken, daß die  $x, y, z$  den physiologischen Urfarben entsprechen müssen, und nicht, wie im Mischungsgesetz, durch lineare Functionen derselben ersetzt werden können.

Wenn man in Gleichung (1) andere Variabeln einführt, und setzt:

$$\left. \begin{aligned} \log (a + x) &= \xi \dots\dots\dots \\ \log (b + y) &= \eta \dots\dots\dots \\ \log (c + z) &= \zeta \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} 12a,$$

so kann man die Gleichung (1) auch schreiben:

$$dE^2 = d\xi^2 + d\eta^2 + d\zeta^2.$$

Construirt man also eine Farbenecke, in der man nicht mehr  $x, y, z$ , sondern  $\xi, \eta, \zeta$  als Coordinaten braucht, so wäre das  $dE$  direct proportional dem Linienelement zwischen den beiden durch  $\xi, \eta, \zeta$  und  $(\xi + d\xi), (\eta + d\eta), (\zeta + d\zeta)$  gegebenen Puncten. In diesem letzteren Coordinatensystem würden sämtliche kürzeste Farbenreihen durch gerade Linien dargestellt werden müssen, die aber beim Übergang in das ursprüngliche Coordinatensystem der  $x, y, z$  im Allgemeinen gekrümmt werden würden.

Wenn wir den einen Endpunct der Farbenreihe mit dem Index (1) bezeichnen, den anderen mit (2), so würde man die Gleichung einer geraden Linie im Coordinatensystem der  $\xi, \eta, \zeta$  auf die Form bringen können:



Die Annahme  $\mu = 0$  giebt eben solche Gerade der  $y$ -Axe parallel, und  $\nu = 0$  der  $z$ -Axe parallel. Dieselben können übrigens durch jeden Punkt der Farbenpyramide gezogen werden.

Im zweiten Falle, wo zwei Exponenten einander gleich erhalten wir entweder

$$\left. \begin{array}{l} \frac{a+x_1}{a+x_2} = \frac{b+y_1}{b+y_2} \dots\dots\dots \\ \text{oder} \\ \frac{b+y_1}{b+y_2} = \frac{c+z_1}{c+z_2} \dots\dots\dots \\ \text{oder} \\ \frac{c+z_1}{c+z_2} = \frac{a+x_1}{a+x_2} \dots\dots\dots \end{array} \right\} 12e.$$

Bezeichnen wir wieder den Punct, dessen Coordinaten  $(-a)$ ,  $(-b)$ ,  $(-c)$  sind, d. h. in welchen alle Lichtempfindung fehlt, auch die des Eigenlichts, mit dem Index 0, den Punct  $x=y=z=0$ , wo nur die Empfindung des Eigenlichts da ist, mit  $\varepsilon$ , so sagt die erste unserer Gleichungen aus, daß die Puncte 0, 1, 2, projectirt auf die  $xy$ -Ebene in gerader Linie liegen. Die Curve liegt also in einer Ebene, die der  $z$ -Axe parallel ist, und durch den Punct 0, sowie die beiden Endpuncte der Curve geht.

Die zweite der Gleichungen 12e würde sich auf eine Ebene beziehen, die der  $x$ -Axe parallel durch den Punct 0 geht, die dritte auf eine Ebene, die der  $y$ -Axe parallel durch denselben Punct geht.

Je zwei dieser Ebenen schneiden sich in geraden Linien, die dann nothwendig hinreichend verlängert durch den Punct 0 gehen, und kürzesten Farbenreihen entsprechen.

Dagegen werden Linien, welche gleicher Qualität des objectiven Lichts entsprechen, verlängert durch den Punct  $\varepsilon$  gehen, wo  $x=y=z=0$ . Nur eine von diesen, die gleichzeitig durch  $\varepsilon$  und 0 geht, wird einer kürzesten Farbenreihe entsprechen.

Nun liegt es im Wesen einer kürzesten Farbenreihe, daß unter solchen Farben, die von der einen Endfarbe gleich großen Unterschied zeigen, die in der kürzesten Farbenreihe liegenden auch der anderen Endfarbe ähnlicher als alle anderen benachbarten Farben erscheinen werden.

Fällt die Reihe der Farben gleicher Mischung mit der kürzesten Reihe zusammen, so werden ihre Glieder auch beim Übergang von schwacher zu hoher Lichtstärke keine Abweichung des Farbentons zeigen. Wohl aber wird dies der Fall sein, wenn die erstere Reihe keine kürzeste ist. Denn dann würde es Farben geben von anderer Mischung, durch welche man einen kürzeren Übergang von den dunkelsten zu den hellsten Tönen gleicher objectiver Qualität bahnen könnte.

Nun kommen in der That solche Unterschiede vor. Ich habe schon in meinen älteren Arbeiten<sup>1</sup> über Spectralfarben erwähnt, daß sie bei steigender

<sup>1</sup> S. oben S. 284, 285 und H. HELMHOLTZ, Über Herrn D. BREWSTER's neue Analyse des Sonnenlichts. Poggd. Ann. Bd. 86. S. 520. 1852.

Helligkeit alle dem Weiss, beziehlich Gelbweiss ähnlicher werden. Am schnellsten geht bei steigender Lichtstärke Grün in Gelb, Violett in Weissblau über. Höhere Helligkeiten sind nöthig, um spectrales Roth in Gelb und Blau in Weiss überzuführen. Es giebt nur eine Farbe, nämlich Gelbweiss, welche bei allen Intensitäten merklich unverändert bleibt. Wir würden daraus zu schliessen haben, dass Gelbweiss dem Farbenton der geraden Linie entspricht, die durch die Punkte (0) und ( $\epsilon$ ) unseres Coordinatensystems geht. Wir wollen diese für unser hier vorliegendes Thema als die Principalinie des Farbensystems bezeichnen. Im Sinne von FECHNERS Hypothese wäre sie die Farbe des Eigenlichts der Netzhaut.

Nehmen wir dagegen eine andere Farbe, z. B. Grün, welches bei Steigerung der Intensität und unveränderter Mischung gelb wird. Offenbar müßten wir ein gesättigteres Grün höherer Helligkeit herzustellen versuchen, um unsere Farbenreihe mit dem dem unteren Ende ähnlichsten Farbentone abzuschliessen, d. h. wir müßten zu einer anderen Farbenmischung übergehen, um in einer Reihe möglichst wenig unterschiedener Farbentöne zu bleiben.

Gekrümmte Projectionslinien. Wenn wir von den drei in Gleichung (2c) einander gleichgesetzten Grössen zwei, die nicht gleiche Exponenten haben, einander gleichsetzen, so sind die Curven verschieden, je nach dem die beiden Exponenten gleiches oder ungleiches Vorzeichen haben.

#### A. Curven durch den Punct 0.

Im ersteren Falle, wenn z. B. die beiden Exponenten  $\lambda$  und  $\mu$  gleiches Zeichen haben, würde  $\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$  positiv sein, und die Curve

$$\frac{a + x}{a + x_1} = \left(\frac{b + y}{b + y_1}\right)^{\frac{\mu}{\lambda}}$$

würde durch den Punct 0 gehen, da dort  $a + x = b + y = 0$  ist. Ist dabei  $\frac{\mu}{\lambda} > 1$ , so würde  $(a + x)$  schneller steigen, als  $(b + y)$  die Curve ihre convexe Seite der Linie  $b + y = 0$  zukehren.

Umgekehrt ist  $\frac{\mu}{\lambda} < 1$ , so würde die Curve ihre convexe Seite der Linie  $a + x = 0$  zukehren.

Wenn wir die Punkte (1) und (2) sehr nahe an einander liegend wählen, und ihre Abstände als kleine Grössen behandeln

$$x_2 - x_1 = dx$$

$$y_2 - y_1 = dy$$

$$z_2 - z_1 = dz,$$

so wird

$$\lambda = - \frac{dx}{a + x_1}$$

$$\mu = - \frac{dy}{b + y_1}$$

$$r = - \frac{dz}{c + z_1}$$

schreiben wir dann

$$\frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \varphi$$

$$\frac{a + x_1}{b + y_1} = \operatorname{tg} f,$$

so wird

$$\frac{\lambda}{\mu} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} f}.$$

Daraus ergibt sich, daß  $\frac{\lambda}{\mu} > 1$ , wenn  $\operatorname{tg} \varphi > \operatorname{tg} f$  oder  $\varphi > f$ , d. h. wenn im Punkte 1 die Tangente der Curve einen größeren Winkel mit der positiven  $y$ -Axe macht, als die Gerade (0,1). Umgekehrt, wenn  $\frac{\mu}{\lambda} > 1$ . Der entferntere Theil aller dieser Curven (1,  $\infty$ ) ist convex, das Stück (0,1) derselben dagegen concav gegen die Gerade (0,1).

$$y \cdot x^{\infty} \quad y \cdot x'^1 \quad y \cdot x'^2 \quad y \cdot x'^3 \quad y \cdot x'$$

$$x \cdot y'^1$$

$$x \cdot y'^2$$

$$x \cdot y'^3$$

$$x \cdot y^{\infty}$$

Die Grenzen dieses Büschels von Curven sind die, wo  $\frac{\mu}{\lambda} = 0$  oder  $= \infty$ . Es sind dies die schon oben erwähnten geraden Linien, gezogen durch den Punct 1, parallel den Axen der  $x$  und der  $y$ .

Die *Fig. 177* stellt ein Bündel solcher Curven dar, welche alle durch denselben Punct  $\epsilon$  gehen und verschiedene Exponenten haben, deren Werthe (1 bis 1,6) am Rande angegeben sind.

### B. Projections-Curven mit zwei Asymptoten.

Wenn die beiden Exponenten der Gleichung entgegengesetztes Zeichen haben, so können wir setzen

$$\frac{\mu}{\lambda} = -\varrho.$$

Dann ist  $\varrho$  eine positive Gröfse, und es wird

$$\frac{a+x}{a+x_1} = \left( \frac{b+y}{b+y_1} \right)^{-\varrho}.$$

Also wird für  $a+x=0$  das  $b+y=\infty$ , und für  $a+x=\infty$  das  $b+y=0$ , d. h. die durch den Punct 0 den Coordinataxen parallel gezogenen Linien sind Asymptoten für die Curve, welche hyperbelähnlich mit zwei Enden in das Unendliche läuft. Aber diese in  $\infty$  auslaufenden Enden der Curven liegen aufserhalb des Farbenheldes, selbst aufserhalb des physiologisch möglichen, da dieses durch zwei gerade Linien begrenzt ist, die parallel den  $x$  und den  $y$  durch den Punct  $\epsilon$  gelegt sind. Das spectrale Farbenheld ist noch enger durch einen spitzen Winkel begrenzt, dessen Scheitel ebenfalls im Puncte  $\epsilon$  liegt, so daß von diesen hyperbelähnlichen Curven nur sehr kurze, fast gerade Stücke für kleine Lichtintensitäten, längere und gekrümmtere nur für grofse Intensitäten in Betracht kommen.

Wenn die oben mit  $\varrho$  bezeichnete Constante den Werth  $\varrho=1$  hat, so ist die Curve eine gleichseitige Hyperbel im strengen Sinne.

Da entweder zwei oder gar keines der Verhältnisse zwischen den Exponenten negativ ist, so können entweder zwei oder keine der Projectionscurven die hyperbelähnliche Form mit zwei Asymptoten haben. Eine von ihnen oder alle drei haben die parabelähnliche Form und gehen durch den Punct (0).

Farbenunterschiede bei gleicher Qualität und verschiedener Helligkeit. Die kürzesten Farbenreihen, welche durch den Punct  $\epsilon$  gehen, der dem Mangel alles objectiven Lichtes entspricht, geben drei parabelähnliche Projectionen, welche auch durch den Punct (0) gehen wie *Fig. 177* zeigt.

In der Mitte des Bündels liegt die als Principallinie bezeichnete Gerade, welche durch (0) und ( $\epsilon$ ) geht und die einzige Linie bildet, welche gleichzeitig einer kürzesten Farbenreihe und gleichbleibender objectiver Qualität der Farbe (gleichem Mischungsverhältnisse) entspricht.

In den drei Ebenen, welche durch diese Linie und die Coordinataxen gehen, liegen ebene Curven, welche der Principallinie ihre convexen Seiten zukehren.

Um Farben dieser Ebenen objectiv herzustellen, würde man entweder einzelne Urfarben mit der Principalfarbe zu mischen haben, oder solche Farben, die, mit

der entsprechenden Urfarbe gemischt, die Principalfarbe geben. Ich will die letzteren principale Gegenfarben nennen. Sind Carminroth, Ultramarinblau und Blattgrün im Farbenton den Urfarben entsprechend, und Gelbweiß die Principalfarbe, so wären etwa Spangrün, Gelb und Purpur die principalen Gegenfarben. Von sämtlichen Mischungen aller sechs Farben mit dem principalen Gelbweiß würde zu erwarten sein, daß sie alle innerhalb der Reihe der Farbentöne bleiben, welche die entsprechenden Mischungen hervorbringen können, und nur das Verhältniß würde geändert erscheinen, indem die lichtschwachen Farben dieser Art gesättigter erscheinen würden, als die gleich zusammengesetzten lichtstarken, da die lichtstarken, die in derselben Farbencurve liegen, in der That sich dem Umfange der Farbenpyramide nähern, wo die gesättigteren Farben liegen.

So werden also lichtschwaches Ultramarin und Gelb bei gleicher Qualität und hoher Intensität als ein weißlicheres Blau und Gelb erscheinen müssen. Die Zumischung von Weiß zum Blau wird relativ stärker sein, als die zum Gelb, weil der gelbe Bestandtheil der Principalfarbe etwas Blau wegnimmt und dafür noch etwas Weiß bildet, dem Gelb aber sich einfach hinzufügt.

Dagegen werden schwaches Urroth bis Purpur einerseits und Blattgrün bis Spangrün andererseits ihre entsprechenden lichtstarken Farben in etwas weißlicheren und gelblicheren Mischungen finden.

Dieses Gelblichwerden der rothen und grünen Farbentöne bei hoher Lichtstärke, das Weißwerden des Blau sind schon oben erwähnt.

Verschwinden der Zwischenfarben bei geringer Helligkeit. Die Spectralfarben sind im Allgemeinen einer Urfarbe oder Mischungen aus je zweien solchen sehr nahe in ihrem Farbentone. Wenn man die letzteren auf die Ebene der beiden Urfarben projecirt denkt, so werden kürzeste Farbenreihen, die in bestimmter Richtung vom Punkte ( $\epsilon$ ), dem Punkte der objectiven Dunkelheit, auslaufen, wie in *Fig. 177*, alle convex gegen die Projection der Principallinie sein, und also im ferneren Verlaufe sich derjenigen Urfarbe nähern, von der sie durch diese Projection nicht getrennt sind. Es werden also lichtschwache Farben, die der Mischung zweier Urfarben entsprechen, der auf gleicher Seite der Gegenfarbe liegenden Urfarbe sich nähern, wenn man nach den ähnlichsten gesättigteren lichtstärkeren Farben sucht.

Dies führt uns auf eine von W. VON BEZOLD<sup>1</sup> und E. BRÜCKE<sup>2</sup> beschriebene Erscheinung. Beide haben nämlich gefunden, daß aus einem gut gereinigten Spectrum von mäßiger Länge, in dem man aber die stärkeren FRAUNHOFERSchen Linien noch gut sehen kann, bei allmählicher Abschwächung die gelben und die cyanblauen Farbentöne ganz verschwinden, und daß zwischen ihnen schließlic nur drei Farben, Roth, Grün und Violettblau, stehen bleiben. Die genannten Autoren haben damals auch schon den Schluss gezogen, daß die genannten drei Farben die physiologischen Grundfarben sein müssen, indem sie diejenigen Empfindungselemente einer gemischten Empfindung, die die Reizschwelle nicht überschreiten, als unwirksam auch in

<sup>1</sup> W. V. BEZOLD, Über das Gesetz der Farbenmischung und die physiologischen Grundfarben. *Poggd. Ann.* Bd. 150. S. 237—239. 1873.

<sup>2</sup> E. BRÜCKE. Über einige Empfindungen im Gebiete des Sehnerven. *Wiener Sitzungsbericht.* Abth. III. Bd. LXXVII. 1878. Febr. 28.





Spectrales Roth kann nach meinen neueren Bestimmungen als Urroth mit überwiegend grünlicher Einmischung betrachtet werden. In der Mischung mit Weiss würde das Grünliche mehr zurücktreten, die Farbe dem Urroth näher, also mehr rosenroth erscheinen, was in der That der Fall ist und schon früher von Hrn. E. HERING bemerkt worden ist.

Violett, was aus gleichen Quantis Urroth und Urblau zusammengesetzt wäre, würde in der Projection auf die Blauroth-Ebene mit der Projection des Weiss fast dieselbe Richtung haben, und seine kürzeste Farbenreihe fast geradlinig sein. Es käme bei spectrumalem Violett nur in Betracht, daß es noch eine Einmischung von Grün hat, die in der Grünroth-Ebene, wie in der Grünblau-Ebene gegen das überwiegende Roth, bezüglich Blau mit steigender Entfernung vom Weiss schwinden würde. Dadurch würde die Farbe dem Complement des Grün, dem Rosenroth ähnlicher gemacht.

Geht man zu bläulichen violetten Einmischungen über, so würde neben dem stärkeren Blau der rothe Bestandtheil des Violett zu schwinden anfangen, was anfangs noch durch das stärkere Schwinden des Grüns compensirt würde. Ich fand, daß zwischen  $\lambda = 450 \mu\mu$  bis  $\lambda = 430 \mu\mu$  der Zusatz des spectralen Blau dem Weiss eine ziemlich deutlich rosenrothe Färbung gab; erst bei  $\lambda = 470 \mu\mu$  schwand dieser röthliche Ton.

Farbenunterschiede schwächsten Lichtes. So wie bei hohen Lichtstärken die Farbenunterschiede schwächer werden und zum Theil verschwinden, findet dasselbe auch bei schwächstem Licht statt. Ich habe schon erwähnt, daß bei allmäliger Abnahme der Lichtstärke zuerst die Zwischenfarben im Spectrum schwinden, Gelb und Grünblau, und der von ihnen eingenommene Raum zwischen Roth, Grün und Violettblau sich theilt. Bei weiterer Abnahme tritt an Stelle der letzteren Rothbraun, Olivenbraun und Blaugrau; endlich schwinden alle Farbenunterschiede, am spätesten das Roth,<sup>1</sup> und alles schwächste Licht wird, so lange es überhaupt noch wahrgenommen werden kann, gleichmäßig grau gesehen.

In absolut dunkler Umgebung sieht man deshalb auch ein sehr lichtschwaches Spectrum als einen schwachen Lichtstreifen ohne Farbenunterschiede, und zwar liegt nach den in dieser Beziehung übereinstimmenden Versuchen von F. HILLEBRAND<sup>2</sup> und A. KÖNIG<sup>3</sup> das Maximum der Helligkeit bei  $\lambda = 535 \mu\mu$  im Grün. Auch schliessen sich einige von den Curven der monochromatischen Augen derselben Helligkeitscurve ziemlich gut an.

Auch das erste schwache Licht, was ein erglühender Körper in ganz dunklem Raume zuerst ausgiebt, erscheint nach Versuchen von FR. WEBER<sup>4</sup> grau, „düsternebelgrau“, nach des Autors Benennung, bei steigender Tempe-

<sup>1</sup> DOVES Angabe, daß Blau zuletzt schwinde, bezieht sich auf gleichmäßige Abnahme des objectiven Lichts, und ist durch PURKINJES Phänomen bedingt.

<sup>2</sup> F. HILLEBRAND (in E. HERINGS Laboratorium angestellte Versuche in *Sitzungsber. der Wiener Akademie*. Bd. 98. Sitzung vom 21. Febr. 1889.

<sup>3</sup> A. KÖNIG, Über den Helligkeitswerth der Spectralfarben *Festschrift für H. v. Helmholtz*, Hamburg 1891. S. 357. Tafel VI.

<sup>4</sup> FR. WEBER, Die Entwicklung der Lichtemission glühender fester Körper, *Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin* 1887. 9. Juni.



Ich habe in diesem Abschnitte die Voraussetzung festgehalten, daß NEWTONS Farbengesetz streng richtig ist. Daß E. BRODHUN<sup>1</sup> Thatfachen entdeckt hat, die Änderungen in den Verhältnissen der Farbenwerthe der Spectralfarben bei wechselnder Lichtstärke anzeigen, habe ich auf S. 375 und 376 schon angeführt. Es schien noch zweifelhaft, ob man dies nicht als Besonderheit seines dichromatischen Auges ansehen müsse. Neuerdings hat aber auch Herr A. KÖNIG<sup>2</sup> an seinem normalen trichromatischen Auge solche Versuche bis zu sehr viel größeren Unterschieden der Lichtstärken ausgedehnt, und ähnliche ziemlich weit gehende Änderungen gefunden. Ich habe mich selbst von der Richtigkeit überzeugt. Daraus folgt wohl nun, daß auch NEWTONS Gesetz nur für mittlere Lichtstärken annähernd richtig ist, nicht für zu kleine.

Ältere Methoden der Photometrie. BOUGUER<sup>3</sup> liefs zwei weiße Flächen 328 durch die zu vergleichenden Lichter beleuchten, stellte sich so, daß er sie beide perspectivisch neben einander sah und veränderte dann die Entfernung der einen weißen Fläche vom Licht so lange, bis die Erleuchtung gleich wurde. LAMBERT<sup>4</sup>, der in seinem berühmten Werke *Photometria* das erste vollständige System dieser Wissenschaft mit großem Scharfsinn entwickelte, wendete neben anderen für specielle Fälle bestimmten Methoden namentlich das Princip der zwei Schatten an, was oben schon erwähnt ist. Dasselbe Verfahren wendet auch RUMFORD<sup>5</sup> in dem nach ihm benannten Photometer an.

Um die Stellung des Beobachters bequemer zu machen, wendete POTTER<sup>6</sup> statt der zwei weißen undurchsichtigen Flächen von BOUGUERS Photometer zwei transparente an, und RITCHIE<sup>7</sup> fügte noch zwei unter 45° geneigte Spiegel hinzu, welche das Licht auf die weißen Flächen warfen und erlaubten die Lichtquellen nach entgegengesetzten 329 Richtungen hin aufzustellen. J. HERSCHEL<sup>8</sup> hob hervor, daß die Bedingung inniger Berührung der zu vergleichenden Flächen in RITCHIES Photometer erfüllt sei, und dadurch die Genauigkeit zunehme. PERNOT<sup>9</sup> modificirte das Verfahren von POTTER dadurch, daß er die beiden transparent beleuchteten Flächen noch von der entgegengesetzten Seite durch ein drittes Licht beleuchtet, welches er allmählich näher bringt. Sind jene beiden gleich, so müssen sie gleichzeitig verschwinden. In BRUNSENS oben erwähntem Photometer wird eine Papierfläche, die zum Theil mit Stearin getränkt ist, von vorn und von hinten beleuchtet. Ist das hintere Licht schwach, so erscheint der transparente Fleck dunkel, ist es zu stark, hell.

Die Absorption der Lichtstrahlen benutzte DE MAISTRE<sup>10</sup> zur Schwächung, indem er ein Prisma von blauem Glase mit einem gleichen von weißem Glase so zusammenlegte, daß die äußeren Begrenzungsflächen parallel wurden und das Licht ungebrochen durchging, aber an verschiedenen Stellen des Doppelprisma verschieden stark absorbiert wurde. Ähnlich benutzte QUETELET<sup>11</sup> zwei Prismen aus blauem Glase, die, verschieden gegen einander verschoben, eine planparallele Platte von veränderlicher Dicke bildeten. Durch die hierbei angewendeten blauen Glasplatten wird aber die Farbe des hindurchgehenden Lichtes verändert, und daß bei der Vergleichung verschiedenfarbigen Lichts keine genaue Messung möglich sei, ist schon erwähnt worden. Noch mißlicher sind zwei andere Instrumente, bei welchen nicht zwei verschiedene Lichter verglichen, sondern absolute

<sup>1</sup> A. KÖNIG, Über NEWTONS Gesetz der Farbenmischung und darauf bezügliche Versuche des Hrn. EUGEN BRODHUN. *Sitzungsber. der Akad. zu Berlin.* 31. März 1887. S. 311.

<sup>2</sup> Nach mündlicher Mittheilung.

<sup>3</sup> BOUGUER, *Essai d'optique* 1729. 12°. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris 1760. latein. Uebersetzung. Wien 1762.

<sup>4</sup> LAMBERT, *Photometria sive de mensura et gradibus luminis, colorum et umbrae.* Augustae Vindelic. 1760.

<sup>5</sup> RUMFORD, *Philos. Transactions* LXXXIV. p. 67.

<sup>6</sup> POTTER, *Edinburgh Journal of Science.* New. Ser. III. 284.

<sup>7</sup> RITCHIE, *Annals of Philosophy.* Ser. III. Vol. I. 174.

<sup>8</sup> J. HERSCHEL, *On light.* p. 29.

<sup>9</sup> PERNOT, *Dinglers polyt. Journ.* CXIX. 155. *Moniteur industr.* 1850. Nr. 1509.

<sup>10</sup> DE MAISTRE, *Bibl. univ. de Genève.* LI. 323. *Pogg. Ann.* XXIX. 187.

<sup>11</sup> QUETELET, *Bibl. univ. de Genève.* LII. 212. *Pogg. Ann.* XXIX. 187—189.



an unbelegten Glastafeln geschwächt. BREWSTER<sup>1</sup> und QUETELET<sup>2</sup> brauchten mehrfache nahe senkrechte Reflexionen, um starkes Licht mit schwachem vergleichbar zu machen: 28 bis 29 solche Reflexionen verlöschen z. B. das Sonnenlicht. DUWE<sup>3</sup> benutzte ebenso die Reflexionen an schwarzen Glastafeln, wie sie zu Polarisationsapparaten gebraucht werden. Die verschieden starke Reflexion bei wechselndem Einfallswinkel benutzte POTTER.<sup>4</sup> Lichtquelle ist ihm ein halbcylindrisch geformter weißer Schirm, dessen gleichmäßige Beleuchtung man voraussetzen muß, die aber schwer zu erreichen sein wird. Die geschickteste Ausführung hat dies Princip in dem Photometer von ARAGO erhalten und ist dadurch zur Ausführung sehr genauer Messungen der Lichtstärke brauchbar geworden.<sup>5</sup> Die Lichtquelle dieses Photometers ist ein transparenter, ebener, senkrecht stehender Papierschirm, der am Fenster steht und in allen seinen Theilen gleichmäßig erleuchtet sein muß, was sich übrigens durch das Instrument selbst controlliren läßt. Senkrecht gegen den Schirm und gegen den Horizont ist ferner aufgestellt eine planparallele Glasplatte, unter deren Mitte sich ein Zapfen befindet, um welchen als Axe ein Rohr in einer horizontalen Ebene drehbar ist. Das Rohr ist horizontal gegen die Mitte der Platte gerichtet, und der Beobachter, welcher durch das Rohr sieht, erblickt theils durch die Platte einen Theil des Papierschirms, theils in ihr gespiegelt einen anderen Theil dieses Schirms. Rechts und links von der Glasplatte, zwischen ihr und dem Schirm, sind horizontal und in etwas verschiedener Höhe schwarze Stäbe angebracht, die dicht neben einander theils durch die Platte, theils von ihr gespiegelt gesehen werden. Wo der gespiegelte schwarze Stab erscheint, sieht der Beobachter das durchgelassene Licht des weißen Schirms allein; wo der schwarze Stab im durchgelassenen Licht erscheint, sieht der Beobachter das gespiegelte Licht des weißen Schirms. Die Röhre wird nun so 331 gestellt, daß die beiden schwarzen Streifen gleich hell erscheinen, und der Winkel, unter dem die Röhre gegen die Glasplatte gerichtet ist, wird durch eine passend angebrachte Theilung gemessen. Man kann nun das einfallende oder das gespiegelte Licht allerlei anderen Einwirkungen unterwerfen und wird dann im Allgemeinen einen anderen Winkel erhalten, unter dem gesehen die beiden Bilder gleich hell erscheinen. Um aus diesem Winkel die stattfindende Schwächung des Lichts berechnen zu können, muß vorher empirisch bestimmt sein, wie sich bei den verschiedenen Einfallswinkeln die durchgelassenen zu den gespiegelten Lichtmengen verhalten, wofür ARAGO ein besonderes Verfahren vorgeschlagen hat, welches darauf beruht, daß die beiden Strahlenbündel, welche ein doppelt brechender Krystall giebt, gleich stark und jeder einzelne halb so stark sind, als der ungetrennte Strahl. Indem er so eines der beiden Strahlenbündel durch Doppelbrechung halbt oder viertheilt, kann er die Stellungen ermitteln, wo das durchgelassene Licht das Viertel, die Hälfte, das Doppelte, das Vierfache des zurückgeworfenen ist und schließlich durch Interpolation die betreffenden Verhältnisse auch für alle zwischenliegenden Winkel bestimmen.

ARAGO hatte noch ein anderes Princip zur Schwächung des Lichts vorgeschlagen, nämlich die Polarisation in doppeltbrechenden Krystallen zu benutzen. Läßt man vollständig polarisirtes Licht vor der Intensität  $I$  in einen solchen Krystall eintreten, und bildet die Polarisationsebene des Lichts mit dem entsprechenden Hauptschnitte des Krystalls einen Winkel  $\varphi$ , so erhält man durch die doppelte Brechung zwei Bündel, deren Intensität beziehlich  $I \cos^2 \varphi$  und  $I \sin^2 \varphi$  ist. Kann man den Winkel  $\varphi$  messen, so ist dadurch also auch unmittelbar das Verhältniß der Lichtstärke der gebrochenen Bündel gegeben. Die Nicol'schen Prismen eliminiren das eine Bündel ganz und lassen nur das andere bestehen. Hierauf beruht das Photometer von F. BERNARD.<sup>7</sup> Die beiden zu vergleichenden Strahlen

<sup>1</sup> BREWSTER, *Edinburgh Transactions*. 1815.

<sup>2</sup> QUETELET, *Bibl. univ. de Genève*. LII. 212. *Pogg. Ann.* XXIX. 137—139.

<sup>3</sup> DUWE, *Pogg. Ann.* XXIX. 190 Anm.

<sup>4</sup> POTTER, *Edinburgh Journal of Science*. New. Ser. IV. 50 und 320. — *Pogg. Ann.* XXIX. 487.

<sup>5</sup> *Oeuvres de FR. ARAGO* X. p. 184—224.

<sup>7</sup> F. BERNARD, *Annales de Chimie*. (3) XXXV. 335—438. *Cosmos*. II. 496—497 und 636—639. C. R. XXXVI. 728—731.



mehr und mehr geneigt, so nimmt die Menge polarisirten Lichts im zweiten Strahle mehr und mehr ab, und zwar in einem Verhältnisse, welches man nach Messung des Einfallswinkels berechnen kann. Mit dem vollständig polarisirten ersten Strahle wird also eine variable Menge theils entgegengesetzt polarisirten, theils natürlichen Lichts des zweiten Strahls gemischt. Dieses gemischte Licht geht nun schliesslich durch eine senkrecht zur Axe geschnittene Kalkspathplatte und einen Turmalin. Ist die Menge polarisirten Lichts in beiden Strahlen gleich gross, so sieht der Beobachter nichts von dem Kreuz mit Ringen in der Kalkspathplatte, wohl aber wird dieses Kreuz sichtbar, sobald die Mengen polarisirten Lichts in beiden Strahlen nicht gleich gross sind. Die Empfindlichkeit des Auges im Erkennen der Polarisationsfigur des Krystals zeigte sich ausserordentlich gross, so dass bei wiederholten Einstellungen das Verhältniss der Intensitäten sich nur um ein  $\frac{1}{200}$  verschieden fand. Eine noch grössere Genauigkeit hat WILD<sup>1</sup> in seinem neueren Photometer erreicht, wo er statt der polarisirten Glasplatten doppeltbrechende Krystalle und als Polariskop zwei gekreuzte Bergkrystallplatten benutzte, welche unter  $45^\circ$  gegen die Axe geschnitten sind. Durch Linsen sind die Strahlen, die hindurchgehen, parallel gemacht. Dergleichen Platten zeigen ein geradliniges Fransensystem, von dem bei passender Einstellung des Apparates nur ein Querstreifen ausgelöscht wird, während zu beiden Seiten die Farben complementär sind. Der Beobachter kann sehr genau auf die Mitte der ausgelöschten Fransen das Fadenkreuz einstellen. Nach WILDS Angaben beträgt der Fehler bei einmaliger Einstellung nur zwischen 0,001 und 0,002 der Lichtstärke.

Schon TALBOT<sup>2</sup> hat zur Schwächung des Lichts eine rotirende Scheibe mit schwarzen und durchsichtigen Sektoren angewendet, und dieses Mittel ist auch von BABINET und SECCHI<sup>3</sup> zu Messungen der Sternhelligkeiten, später von AUBERT (s. § 22) angewendet worden.

Von POUILLET<sup>4</sup> ist zur Erleichterung des physiologischen Theils der photometrischen Methoden vorgeschlagen worden, Lichtbilder zu gebrauchen, die nach DAGUERRES Verfahren auf polirten Silberplatten ausgeführt sind. Um ein solches Bild positiv zu sehen, muss es von der Seite beleuchtet sein, der Beobachter aber muss so stehen, dass er irgend einen dunklen Körper, aber nicht das einfallende Licht von der Platte gespiegelt erblickt. Erblickt er im Gegentheil einen sehr hellen Körper von der Platte gespiegelt, so erscheint das Bild negativ, was hell sein sollte, dunkel, und umgekehrt. Dazwischen aber giebt es eine gewisse Helligkeit der gespiegelten Fläche, bei welcher das Bild ganz verschwindet, während es bei der geringsten Vermehrung oder Verminderung der Helligkeit positiv oder negativ auftaucht.

Ein von den bisherigen ganz abweichendes physiologisches Princip der Photometrie hat SCHAFFHÜTL<sup>5</sup> benutzt, für dessen Richtigkeit er aber bisher den Beweis noch schuldig geblieben ist. Er behauptet, das Zeitintervall, welches zwischen zwei gleichartigen Lichteindrücken verfliesen kann, ohne dass das Auge die Unterbrechung bemerkt, sei proportional der Wurzel aus der Intensität des Lichts. Sein Apparat besteht aus einer Stahlfeder, die an ihrem unteren Ende so eingeklemmt ist, dass sie in ihrer Gleichgewichtslage vertical steht. An ihrem oberen Ende trägt sie einen rechtwinkligen Schirm von dünnem geschwärzten Kupferblech, der in der Mitte von einer rechteckigen Öffnung durchbrochen ist. Durch eine horizontale, von zwei Diptern geschlossene Röhre sieht der Beobachter auf den Schirm, welchen die Feder trägt; dahinter ist die Lichtquelle so aufgestellt, dass ihr Licht nur dann in das Auge des Beobachters dringen kann, wenn der Schlitz des Schirms in der Axe der Dipterröhre sich befindet. Die Feder wird so lange verkürzt, bis das Bild der Lichtquelle nicht mehr zitternd, sondern ruhig erscheint.

<sup>1</sup> WILD, *Mitth. der bernischen naturf. Ges.* 1859. No. 427—429.

<sup>2</sup> TALBOT, *Pogg. Ann.* XXXV. 457. 464. *Phil. Magaz.* Nov. 1834. p. 327. Darüber PLATEAU in *Bull. de l'Acad. de Bruxelles.* 1835. p. 52.

<sup>3</sup> BABINET und SECCHI, *Arch. d. sc. phys. de Genéve.* XX. 121—122. *Memorie dell' osservatorio di Roma.* Cosmos. I. 43.

<sup>4</sup> POUILLET, C. R. XXXV. 373—379. *Pogg. Ann.* LXXXVII. 490—498. *Inst.* 1852. p. 301. *Cosmos.* I. 546—549.

<sup>5</sup> SCHAFFHÜTL, *Abbildung und Beschreibung des Universal-Vibrations-Photometer.* *Münchener Abhandl.* VII. 465—497.





dation und hat damit allerdings das Wesentliche der meisten dazu gehörigen Erscheinungen getroffen. Ebenso studirte sie GALILEI<sup>1</sup> genauer; er spricht es aus, daß sie desto lebhafter ist, je größer der Unterschied des hellen Objects und des dunklen Grundes, daß helle Objecte stets vergrößert, dagegen dunkle Objecte auf hellem Grunde (Mercur und Venus vor der Sonne) verkleinert erscheinen, daß die Vergrößerung sehr kleiner Objecte am bedeutendsten ist. Anfangs glaubte er, wie GASSENDI,<sup>2</sup> annehmen zu dürfen, daß leuchtende Gegenstände die umgebende Luft entzündeten, später aber suchte er den Grund richtiger in unregelmäßigen Brechungen im Auge. Auch GASSENDI glaubte später, daß die Sterne bei Nacht größer erschienen, weil die Pupille weiter sei. Für sein Auge schwankte der Durchmesser des Mondes, je nach der Helligkeit des Grundes zwischen 33' und 38'. Die Verkleinerung kleiner Gegenstände auf hellem Grunde erörtert namentlich SCHICKARD,<sup>3</sup> der zugleich die Behauptung aufstellte, daß das Licht am Rande dunkler Objecte sich zum Theil in den Schattenraum hinein ausbreite, wie denn auch später LE GENTIL<sup>4</sup> die Irradiation durch Diffraction zu erklären suchte. Dagegen suchte HORROCKES<sup>5</sup> in GALLEIS Sinne zu vertheidigen, daß die Irradiation ihren Sitz im Auge habe. DESCARTES meinte, daß beim Anblick heller Gegenstände die Pupille sich verengere, das Auge einem nahe sehenden ähnlich werde, und dadurch die Beurtheilung der Entfernung und Größe solcher Objecte verändert werde, außerdem aber könne die Bewegung der Netzhautelemente, wenn sie sehr heftig werde, auf die benachbarten übertragen werden, so daß das empfundene Bild größer erscheine. Hierdurch ist DESCARTES der Urheber der auf Übertragung der Nervenirregung gegründeten Theorie der Irradiation geworden. Als nun später die Astronomen stark vergrößernde und gutgearbeitete Fernrohre zu gebrauchen anfangen, machte sich die Irradiation bei den größeren Gestirnen kaum noch merklich, und man fing an, sie zu bezweifeln und zu leugnen,<sup>6</sup> während andere Astronomen ihre Existenz anerkannten.<sup>7</sup> Bei den astronomischen Beobachtungen vermischen sich in der Regel die Wirkungen der chromatischen und sphärischen Aberration des Fernrohrs mit denen der Unvollkommenheiten des Auges, und es mußte hier nothwendig das Urtheil der Astronomen, welche Fernrohre gebrauchten, verschieden ausfallen, je nach der Beschaffenheit des Fernrohrs. Daß bei den besten Fernrohren die Irradiation sich in den Messungen nicht mehr merklich macht, hat namentlich BESSEL 1832 beim Durchgang des Mercur vor der Sonne gezeigt.

Während die Astronomen meistens nur die Frage verhandelten, ob Irradiation bestehe oder nicht, die Frage über ihre Ursachen dagegen übergingen, fingen andere Naturforscher auch an, letztere Frage zu behandeln. J. MÜLLER<sup>8</sup> betrachtete anfangs die Irradiation, wie wir es oben gethan haben, als eine Ausbreitung objectiven Lichts, später wurde er selbst, sowie die meisten anderen Physiologen jener Zeit, in welcher sich auch die Lehre von den Mitempfindungen entwickelte, durch die sehr ausführliche Arbeit von PLATEAU<sup>9</sup> über die Irradiation bewogen, sie von einer Übertragung der Reizung von einem Netzhautelement auf das andere abzuleiten. Die Erscheinungen, welche PLATEAU als Irradiation beschreibt, sind von der Art, wie sie ein schwach kurzsichtiges Auge an entfernteren Gegenständen sehen muß, es sind also meist Erscheinungen unvollkommener

<sup>1</sup> GALILEI, *Opere di Galilei*. T. II. p. 18: 255—257, 396; 467—469. *Sistema cosmicum*. Lyon 1641 Dial. III. p. 248.

<sup>2</sup> GASSENDI, *Opera omnia*. Florenz 1727. T. III. p. 385, 567, 583—585. T. I. pag. 499—508.

<sup>3</sup> SCHICKARD, *Pars responsi ad epistolas P. Gassendi de Mercurio sub sole visis*. Tübingae 1632.

<sup>4</sup> LE GENTIL, *Mém. de l'Acad. d. Sc. de Paris*. 1784. p. 469. (Gelesen 1743.)

<sup>5</sup> HORROCKES, *Venus in sole visis*. Cap. XVI. Abgedruckt hinter HEVELIUS' *Mercurius in sole visis*.

<sup>6</sup> BIOT, *Traité élémentaire d'astronomie physique*, édit. 2me. pag. 534, 536. — DELAMBRE, *Astronomie théorique et pratique*. T. II. chap. 26. § 197. T. III. chap. 29. § 12. — BESSEL, *Astronom. Nachrichten* 1832. No. 228.

<sup>7</sup> HASSENFRATZ, *Cours de physique céleste*. 1810. p. 23. — J. HERSCHEL, *On light*. T. I. §. 697. — QUETELET, *Positions de Physique*. 1829. T. III. p. 81. — BRANDES in *Gehler's physikal. Wörterbuch*. Neu bearbeitet. V. 796. ROBISON, *Mem. of the Roy. Astron. Soc. of London*. V. p. 1.

<sup>8</sup> J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes*. 1826. S. 400.

<sup>9</sup> PLATEAU, *Mém. de l'Acad. de Bruxelles*. T. XI. *Pogg. Ann.* Ergänzungsband. I. S. 79, 193, 405.









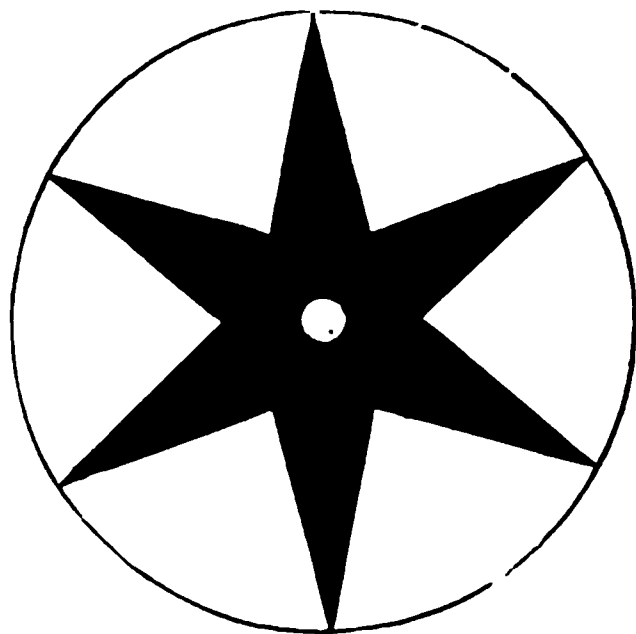


Bewegung, so bleibt die Helligkeit gleich groß, man mag die Linse dem Auge oder der Scheibe näher bringen, woraus unmittelbar folgt, daß das 341 Auge von dem intermittirenden Licht gleich stark, wie von einer gleichen Quantität continuirlich ankommenden Lichts afficirt wird.

Für farbiges Licht geht die Richtigkeit des oben hingestellten Satzes aus den Versuchen von DOVE hervor über die Erscheinungen, welche rotirende Polarisationsapparate darbieten. Wenn zwischen zwei NICOLSche Prismen doppeltbrechende Krystallplatten eingeschaltet sind, so entstehen bekanntlich in vielen Fällen bei gewissen Stellungen der genannten Prismen Farben, die theils gleichmäfsig über das ganze Feld verbreitet sind, theils farbige Figuren bilden. Bei allen diesen Erscheinungen bekommt aber jeder Punct der Figur, wie theoretisch in der Lehre von der Polarisation des Lichts nachgewiesen werden kann, genau die Complementärfarbe, wenn man das eine NICOLSche Prisma um einen rechten Winkel dreht. Der Versuch bestätigt es nun, daß bei schneller Rotation des einen NICOL das Auge weiß sieht. Schaltet man noch ein farbiges Glas ein, so erhält man bei zwei um  $90^\circ$  verschiedenen Stellungen des einen NICOL Farben, welche vereinigt die Farbe des Glases geben müssen und bei schneller Rotation auch wirklich geben.

Übrigens wird unser Gesetz für intermittirendes farbiges Licht auch bestätigt durch die Übereinstimmung, welche die Resultate der Farbmischung auf der drehenden Scheibe mit denen haben, die man durch directe Zusammensetzung des farbigen Lichts gewinnt, was in § 20 bei der Lehre von der Farbmischung schon erwähnt ist. Will man die ganze Scheibe gleichmäfsig mit der Farbe überzogen sehen, so pflegt man die Scheibe in Sektoren abzutheilen und den einzelnen Sektoren verschiedene Färbung zu geben, die aber in der Ausdehnung jedes einzelnen Sectors ganz constant sein muß. Dann erscheint bei der Rotation die ganze Scheibe in der Mischfarbe. Die Lichtstärke der Mischfarbe ist aber dabei nach dem obigen Gesetz immer das Mittel aus der Lichtstärke der einzelnen gemischten Farben, und da alle Farbstoffe bei gleicher Beleuchtung dunkler als weiß erscheinen, indem sie nur gewisse Farben, die einen Theil des gesamten weißen Lichts bilden, reflectiren, so ist auch die Mischfarbe immer lichtschwächer, als Weiß, erscheint also, wenn sie wenig gesättigt ist, grau.

Führt man auf einer Farbenscheibe einen farbigen Stern auf andersfarbigem Grunde aus, wie *Fig. 180*, so sieht man bei der Rotation der Scheibe in der Mitte die Farbe des Sterns, am Rande die des Grundes, dazwischen alle continuirlichen Übergangsstufen der einen Farbe durch die Reihe der Mischfarben in die andere. Überhaupt kann man auf den rotirenden Scheiben die Helligkeit oder die Farbmischung von



*Fig. 180.*











hellen Lichts im Anfang am schnellsten abnimmt, hat sie doch im Ganzen die längste Dauer, ähnlich wie ein heißer Körper in kühler Umgebung um desto mehr Temperaturgrade in gleicher Zeit sich abkühlt, je heißer er ist, aber auch desto längere Zeit braucht, ehe er seine höhere Temperatur ganz verloren hat. PLATEAU hat an seinen Farbenscheiben auch in dieser Beziehung Messungen angestellt, welche die Zeit des Vorübergangs eines schwarzen Sectors ergeben, wenn die Farbe der hellen Sektoren sich über die schwarzen so ausgebreitet hatte, daß das Schwarz nirgends mehr rein erschien. Es ergab sich

für Weiß	0,35	Secunden
für Gelb	0,35	„
für Roth	0,34	„
für Blau	0,32	„

Eine verschiedene Dauer der Nachwirkung für die verschiedenen Farben zeigt sich auch noch in den Farbenveränderungen, welche das Nachbild eines weißen Lichts auf dunklem Grunde erleidet, ehe es ganz verschwindet. Da sich diese Erscheinungen aber mit denen, welche im folgenden Paragraphen beschrieben werden sollen, mannigfaltig vermischen, so möge erst dort ihre genauere Beschreibung folgen.

346 Aus den in diesem Paragraphen geschilderten Thatsachen geht hervor, daß Licht, welches die Netzhaut getroffen hatte, im Sehnervenapparate eine primäre Wirkung hinterläßt, die erst in den nächstfolgenden Augenblicken sich in Empfindung umsetzt. Die Größe der primären Veränderung, die ein momentaner Lichteindruck zurückläßt, hängt nur von der Quantität Licht ab, die auf den betreffenden Theil der Netzhaut gefallen ist, wobei es einerlei ist, ob sehr intensives Licht eine kurze Zeit, oder schwächeres eine längere Zeit gewirkt hat, vorausgesetzt nur, daß die Zeit der Einwirkung überhaupt kleiner als  $\frac{1}{30}$  Secunde gewesen ist. Die primäre Gesamtwirkung sehr intensiven Lichts fällt also nicht verhältnißmäßig schwächer aus, als die mäßigen Lichts von entsprechend längerer Dauer, wie dies doch bei dauernder Empfindung des Lichts von verschiedener Stärke der Fall ist.

Es liegt hierin kein Widerspruch, wie es wohl scheinen könnte, denn den Mangel der Proportionalität fanden wir zwischen der objectiven Lichtintensität und der fertig ausgebildeten Empfindung, hier haben wir es dagegen nur zu thun mit der augenblicklichen primären Wirkung, die erst später in Empfindung übergehen wird, und es ist kein Hinderniß anzunehmen, daß die vermuthlich photochemische Wirkung in der Nervenmasse einem anderen Gesetze der Größe folge, als die secundäre Wirkung, die Empfindung. Das ganze Verhältniß wird vielleicht am klarsten durch den Vergleich mit einem Magneten, der in einem galvanischen Multiplicator aufgehängt ist, und durch einen intermittirenden Strom von hinreichend schnellen Intermissionen abgelenkt wird. Auch in diesem Falle hängt die Ablenkung nur ab von der

gesamten Menge von Elektrizität, welche in der Zeiteinheit durch den Draht fließt, ohne doch dieser Menge nothwendig proportional zu sein. Auch hier existirt aber eine der Elektrizitätsmenge jedes einzelnen momentanen Stromes proportionale Wirkung, nämlich die kleine Geschwindigkeit, welche er dem Magneten im Sinne der Ablenkung mittheilt, und welche bis zum Eintritt des nächsten Stromes durch die Wirkung des Erdmagnetismus wieder aufgehoben sein muß, wenn die Ablenkung des Magneten constant bleiben soll. Der Magnet erscheint continuirlich ruhend abgelenkt, wenn die Schwankungen in seiner Lage, welche die einzelnen Stromstöße hervorbringen, zu klein sind, um wahrgenommen zu werden; so giebt auch ein intermittirendes Licht eine continuirliche Empfindung, wenn die Schwankungen in der Stärke der Empfindung kleiner sind, als die kleinsten wahrnehmbaren Stufen der Empfindung.

Was die Einrichtung der rotirenden Scheiben betrifft, welche **MUSCHENBROEK**<sup>1</sup> zuerst erwähnt, so sind die einfachsten die Kreisel. Ich pflege für die meisten Versuche einen einfachen aus Messing gedrehten Kreisel zu benutzen, dessen Querschnitt in *Fig. 182* in  $\frac{1}{3}$  GröÙe dargestellt ist. Er wird nur mit der Hand in Gang gebracht. Man kann ihn deshalb in jedem Augenblicke leicht und ohne Vorbereitung in Bewegung setzen, seine Geschwindigkeit nach Belieben verstärken oder mäßigen, aber allerdings entspricht das Maximum der Geschwin-

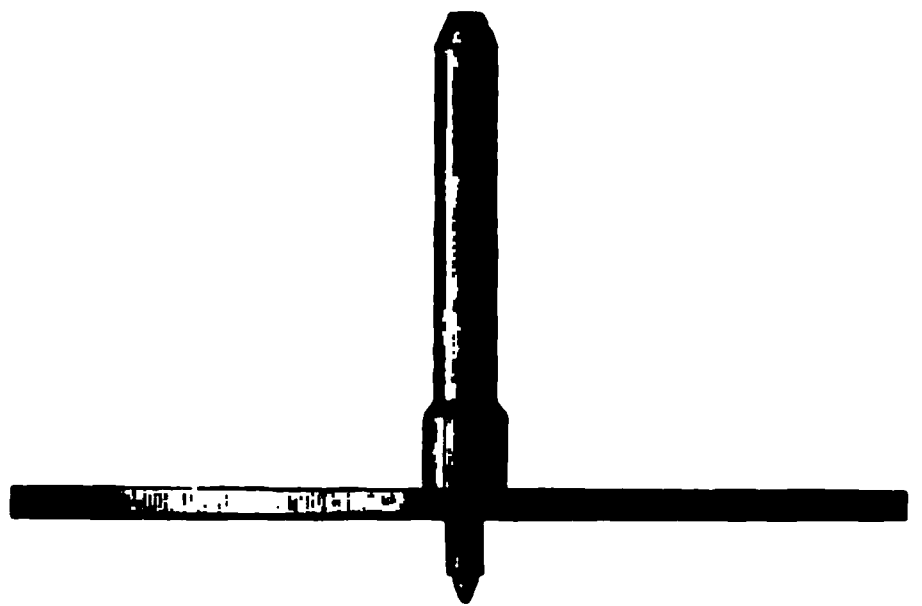


Fig. 182.

digkeit, was man ihm mit den Fingern mittheilen kann, nur ungefähr 6 Umdrehungen 347 in der Secunde, wonach er 3 bis 4 Minuten in Bewegung bleibt. Wegen der geringen Rotationsgeschwindigkeit bekommt man einen ganz gleichmäßigen Lichteindruck nur, wenn die Scheiben in 4 oder 6 Sektoren getheilt und in jedem die gleiche Vertheilung von Farben, Licht und Schatten angebracht ist. Ist die Zahl der gleichen Wiederholungen der Zeichnung eine geringere, so giebt es wenigstens bei starker Beleuchtung ein mehr oder weniger schillerndes Ansehen der Scheibe. Die Zeichnungen kann man selbst während des Ganges der Scheibe leicht darauf werfen und kann auch leicht Veränderungen hervorbringen, wenn man auf eine volle Scheibe eine mit ausgeschnittenen Sektoren wirft, deren Lage auf der unteren man durch Hinstreifen mit den Fingern oder durch Blasen mit dem Munde verändern kann; so lassen sich während des Ganges der Scheibe sehr mannigfaltige Variationen hervorbringen.

Giebt man der Scheibe z. B. gleich breite blaue und rothe Sektoren, und legt darauf eine Scheibe mit gleich breiten Sektoren, von denen man den ersten, dritten, fünften u. s. w. schwarz gemacht hat, während der zweite, vierte, sechste u. s. w. fortgeschnitten ist, so wird bei der Rotation die ganze Scheibe blau sein, wenn die schwarzen Sektoren der oberen Scheibe auf die rothen der unteren fallen und diese verdecken, dagegen wird die Scheibe roth erscheinen, wenn die schwarzen Sektoren der oberen Scheibe auf die blauen der unteren fallen; in den Zwischenlagen erhält man verschiedene Mischungen von Roth und Blau und kann daher während des Ganges der Scheibe die eine Farbe allmählich in die andere übergehen lassen, wenn man durch Überstreifen mit dem Finger oder durch Blasen die Lage der oberen Scheibe verändert. Begrenzt man die verschiedenen Sektoren nicht durch gerade, sondern durch krumme oder gebrochene Linien, so kann man leicht sehr mannigfache und bunte Wechsel von Ringsystemen erzeugen.

<sup>1</sup> **MUSCHENBROEK**, Introductio. § 1820. 1760.



ihre Schlitz hindurch, so werden auf jeder Seite Sektoren der einzelnen Scheiben von beliebig veränderlicher Breite sichtbar, so daß das Mischungsverhältniß der Farben continuirlich geändert werden kann.

Die vollkommenste Construction für einen Kreisel, der nur bei sehr schneller Bewegung gebraucht werden soll, bietet der BRONDSCHKE Farbenkreisel dar (Fig. 186). Er besteht aus einer fünf Pfund schweren Scheibe, die aus einer Legirung von Zink und Blei gegossen ist, ein Decimeter im Durchmesser. Die Axe von Messing läuft unten auf einer fein abgerundeten Spitze von nicht gehärtetem Stahl. Der cylindrische Theil der Axe ist rauh gemacht, damit die Schnur fest darauf liegen kann. Will man den Kreisel in Bewegung setzen, so wird seine Axe nach Umwicklung mit der Schnur in die Einschnitte der eisernen Arme *dd* eingelegt, ein Teller untergestellt und mit der rechten Hand die Schnur kräftig abgezogen, während die linke sich gegen den Hebel *e* stützt. Der Kreisel muß vor dem Abziehen möglichst nah am Rande des Tellers stehen, die Schnur einen halben Fuß kürzer sein, als die ausgespannten Arme messen, und an ihrem Ende mit einer Handhabe versehen sein. Wenn der Kreisel läuft, zieht man den Teller mit dem Kreisel unter den Armen des Hebels *e* hervor. Dieser, welcher um eine Axe bei *c* drehbar ist, hebt sich dabei nach oben. Bei kräftigem Abziehen der Schnur kann man bis 60 Umdrehungen in der Secunde hervorbringen, und die Bewegung hält 45 Minuten an.



Fig. 183.

Fig. 186.

Außer den Kreiseln hat man nun auch vielfältig Scheiben benutzt, deren Axe in zwei Zapfenlagern läuft, und die entweder durch ein Uhrwerk, oder eine unendliche 349 Schnur, oder durch Abziehen einer Schnur wie die Kreisel in Bewegung gesetzt werden.

Eine für messende Versuche bestimmte wesentliche Verbesserung ist ein von LUMMER und BRONDSCHKE neuerdings construirter Rotationsapparat, auf welchem zwei ausgeschnittene Scheiben laufen, deren Stellung zu einander während der Rotation allmählig geändert werden kann. Die Beschreibung wird in den photometrischen Berichten der Deutschen phys. techn. Reichsanstalt gegeben werden.

Im Allgemeinen tritt bei diesen Apparaten die Unbequemlichkeit ein, daß man die Scheiben nicht wechseln kann, ohne den Apparat anzuhalten und die Scheibe aus ihren Axenlagern zu entfernen. Andererseits hat man den Vortheil, die Scheibe in verticaler Stellung umlaufen lassen zu können, wobei ein großes Auditorium sie gleichzeitig sehen kann, was bei den Kreiseln nicht so leicht zu erreichen ist. Mischung der Farben hat MORRISON auch durch ein rotirendes Prisma erreicht, dessen objectives Spectrum er über einen weißen Schirm laufen ließ.

Das Thaumatrope ist ein rechteckiges Täfelchen, welches man um eine Axe, die durch die Mitte der längeren Seiten geht, rotiren läßt. Auf die eine Seite ist etwa ein Vogel gemalt, auf die andere der Käfig. Wenn man schnell rotiren läßt, scheint der Vogel im Käfig zu sitzen. Es ist jetzt als Kinderspielzeug bekannt, erfunden von Dr PARIS.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PARIS, *Edinb. Journal of Science*. VII. 87. *Pogg Ann.* X. 480. 1:27.













































dies so, als wenn das weiße Feld durch Contrast in seiner Nachbarschaft eine neue subjective Lichtempfindung hervorriefe, oder, wie sie es nennen, „inducire“. Ich finde eine solche besondere Hypothese nicht nöthig. Wir kommen übrigens noch in der Lehre vom Contrast auf diese Hypothese zurück. In den darüber gemachten Auseinandersetzungen wirkt auch vielfältig die Ansicht mit ein, daß das Eigenlicht der Netzhaut eine Empfindung von verschwindend kleiner Intensität sei, während man dasselbe, wie ich oben auf Seite 414 schon hervorgehoben habe, überhaupt nur durch die kleinen Differenzen seiner Stärke kennt, die den Lichtstaub des dunkeln Gesichtsfeldes bilden, während seine mittlere Stärke nach der modificirten FECHNERSchen Hypothese berechnet, gar nicht so klein sein kann. Was man nach meiner Ansicht der Sache am Rande der Nachbilder von weißen Scheiben sieht, würde als die wahre Stärke des Eigenlichts ausgeruhter Netzhautstellen zu betrachten sein, nur besonders deutlich wahrnehmbar durch den Contrast.

Zeitlicher Verlauf eines durch constante Beleuchtung erzeugten Eindrucks. Die beschriebenen Erscheinungen lassen auf folgenden Verlauf der Empfindungsstärke schließen, wenn von einem bestimmten Augenblick ab in einer ausgeruhten Netzhautstelle eine constante Beleuchtung beginnt. Der Eindruck des ersten Moments hat eine Nachwirkung von gewisser Dauer. Dazu gesellt sich gleich darauf verstärkend der Eindruck des zweiten Zeittheilchens, und so fort jedes folgenden. Aber gleichzeitig läßt jede dadurch erregte Thätigkeit des Nerven, die sich durch die Empfindung wahrnehmbar macht, auch einen gewissen Grad von Erschöpfung zurück, die unter dem Einfluß des arteriellen Blutes nur langsam schwindet. Die später folgenden neuen Lichteinwirkungen bringen, zusammenwirkend mit den schwindenden Nachwirkungen der vorausgegangenen, also nicht mehr dieselbe Höhe der Summe hervor, wie die ersten, welche mit einem Zustand geringerer Ermüdung des Auges zusammentrafen. Daraus folgt, daß eine constante Beleuchtung eine im Anfang schnell steigende Empfindung geben muß, die dann ein Maximum erreicht, später wieder sinkt. Den Beweis für das Sinken der Erregung hat uns der vorher beschriebene Versuch mit einer weißen Scheibe gegeben, die zuerst auf schwarzem Grunde gesehen wurde und die dann, wenn ihr ein gleich heller weißer Grund untergeschoben wurde, in negativem Nachbilde erschien, dunkler als der gleich beleuchtete Grund.

Um die Zeit zu bestimmen, welche verfließt, ehe das Maximum erreicht wird, können Versuche dienen, die nach folgendem Plane angestellt wurden und von Herrn SIGMUND EXNER<sup>1</sup> ausgeführt worden sind. Man zeigt dem beobachtenden Auge erst ein begrenztes weißes Scheibchen (Halbkreis) auf schwarzem Grunde, eine meßbare kleine Zeit später erscheint überall ganz weißer Grund von gleicher Helligkeit, noch etwas später wird das

<sup>1</sup> SIGMUND EXNER, Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit. *Sitz.-Ber. d. Wiener Akad. Abth. II. Bd. 58. S. 601—632. 1868.*



ganzen Felde verdunkelte, wozu nur so viel Zeit nöthig war, als der genannte Rand brauchte, um die Breite der Pupille zu durchlaufen.

Bei den Versuchen erblickte der Beobachter zuerst durch das Fernrohr das begrenzte weisse Feld, dann trat ein weisser Sector der Scheibe vor, dann ein schwarzer, der den gröfseren Theil des Umfangs einnahm. Zwischen den einzelnen Beobachtungen blieben immer Pausen von zwei Minuten, bis der Ausschnitt der ersten Scheibe wieder den Blick frei liefs.

S. EXNER fand, dafs das Maximum desto früher eintrat, je stärker die Beleuchtung des weissen Feldes war; ich gebe hier die Ergebnisse zweier Versuchsreihen :

Intensität	Zeit zur Erreichung des Maximum nöthig in Secunden	
	I. Reihe	II. Reihe
1	0,2873	0,2654
2	0,2460	0,2176
4	0,2000	0,1744
8	0,1508	0,1188

Man sieht daraus, dafs das Maximum desto schneller erreicht wird, je stärker das Licht, und zwar sind die Zeitdifferenzen, welche einer Verdoppelung der Beleuchtungsstärke entsprechen, nahehin gleich grofs.

Der genannte Beobachter hat auch durch Benutzung verschieden starker Beleuchtungen der beiden weissen Felder noch andere Punkte der Curve abmessen können, welche die Empfindungsstärke als Function der Zeit darstellt, und dadurch die Form einer solchen Curve (*Fig 192*) ziemlich vollständig hergestellt.

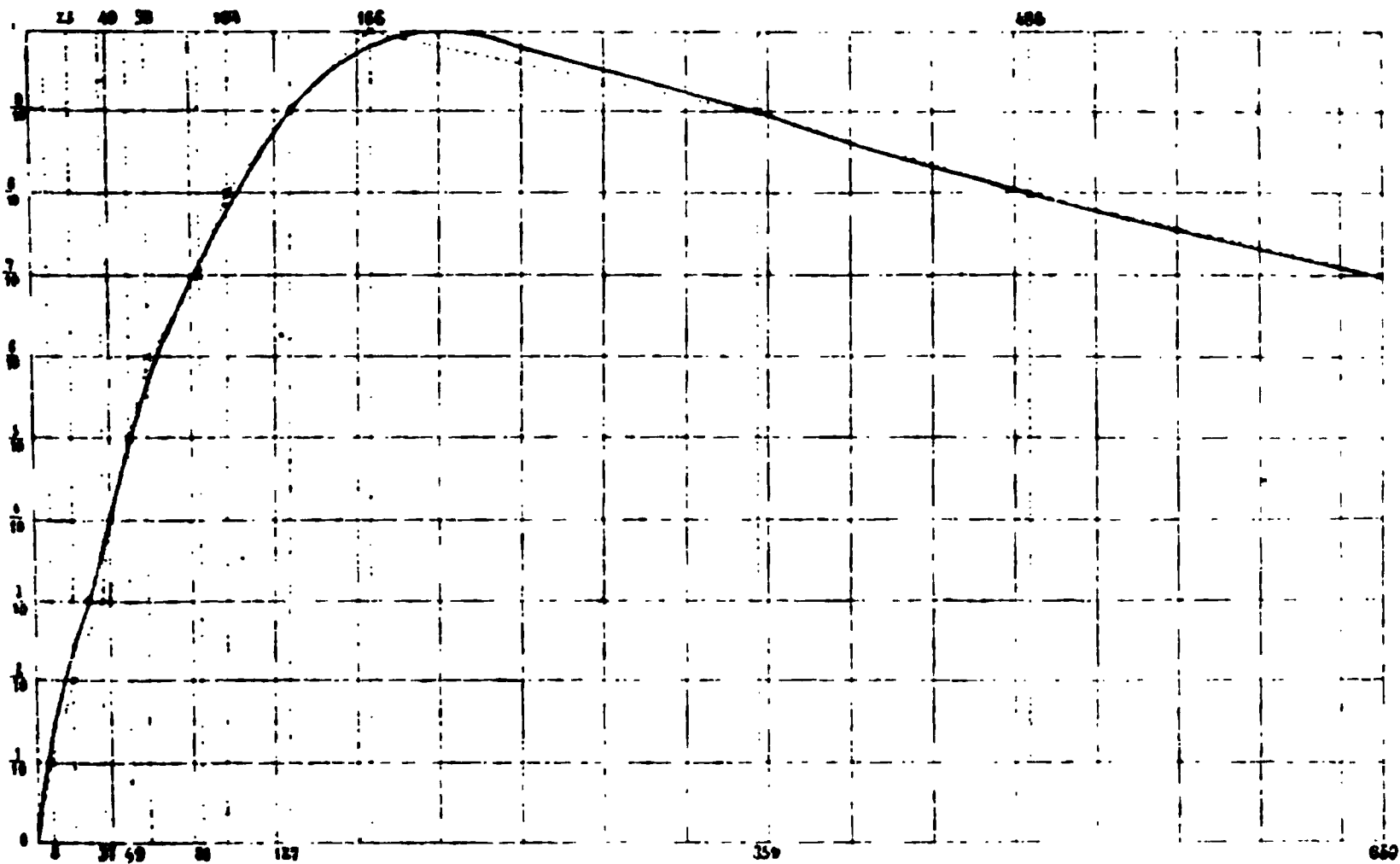


Fig. 192.



verschiedenen Farben verschieden empfindlichen Nervenarten erklärt. Denn da das farbige Licht diese drei Arten von Nerven nicht gleich stark erregt, so müssen den verschiedenen Graden der Erregung auch verschiedene Grade der Ermüdung nachfolgen. Hat das Auge Roth gesehen, so sind die rothempfindenden Nerven stark gereizt und sehr ermüdet, die grünempfindenden und violett empfindenden schwach gereizt und wenig ermüdet. Fällt nachher weißes Licht in das Auge, so werden die grün- und violett empfindenden Nerven davon verhältnißmäßig stärker afficirt werden, als die rothempfindenden. Der Eindruck des Blaugrün, der Complementärfarbe des Roth, wird deshalb in der Empfindung überwiegen.

Entsprechend verhält es sich, wenn man negative Nachbilder von farbigen Objecten auf farbigem Grunde betrachtet. Aus der Farbe des Grundes schwinden immer hauptsächlich diejenigen Bestandtheile, welche in der primär angeschauten Farbe überwiegen. So läßt ein grünes Object auf gelbem Grunde ein rothgelbes Nachbild, auf blauem Grunde ein violettes. Denken wir uns das Gelb aus Roth und Grün, das Blau aus Grün und Violett zusammengesetzt, dann das Grün in beiden durch Einfluß der Ermüdung vermindert, so ergibt sich der Erfolg, daß das Nachbild im Gelb sich dem Roth, im Blau dem Violett nähern wird. Ueberhaupt liegt die Farbe des Nachbildes immer zwischen der des Grundes und der der Complementärfarbe des Objects, und kann, soweit es nur den Farbenton, nicht die Helligkeit betrifft, als eine Mischung von beiden angesehen werden.

Herr C. HESS hat unter Leitung von Herrn E. HERING Versuche über farbige Nachbilder angestellt,<sup>1</sup> deren Ergebnisse sich durchaus unter die oben aufgestellte Regel einordnen, die er aber glaubt zur Widerlegung der Theorie von TH. YOUNG verwerthen zu können. Seine Einwendungen wären richtig einer Farbentheorie gegenüber, die die Grundfarben in einer oder einigen der Spectralfarben zu finden glaubt, und außerdem das Eigenlicht der Netzhaut als verschwindend klein betrachtet. Gegen die erstere Annahme habe ich mich schon in der ersten Ausgabe dieses Werkes erklärt mit besonderer Beziehung auf die Nachbilder. Nun wissen wir von dem Verlauf der Ermüdungserscheinungen im Auge bisher noch zu wenig, da wir es in allen beobachtbaren Fällen ohne Ausnahme mit Ermüdung aller drei Faserarten zu thun haben, um Schätzungen über den größeren oder kleineren Einfluß mit einiger Sicherheit anstellen zu können, wie sie Herr HESS anstellt. Aber schließlich handelt es sich hier nur darum, zu zeigen, daß eine Hypothese über die Größe und den Verlauf der Netzhautermüdungen möglich ist, die mit den That- sachen dieses Gebietes in Übereinstimmung ist, welche hier übrigens nur dazu dienen soll, statt der schwankenden Schätzungen von HESS eine in sich folgerichtige Rechnung mit bestimmten Größen zu setzen, die übrigens natürlich keinen anderweitigen Anspruch auf genaue Richtigkeit macht.

Setze die Componenten des primären Lichts gleich  $x, y, z$ , die des reagirenden Lichts gleich  $\xi, \eta, \zeta$ . Setze ferner, daß während der Einwirkung von  $x$  die Erregungsstärke der gleichen Grundfarbe  $\xi$  mit steigender Zeit  $t$  abnehme, wie

<sup>1</sup> C. HESS, Über die Tonänderungen der Spectralfarben durch Ermüdung der Netzhaut mit homogenem Lichte. *Gräfes Archiv*. Bd. 36. Abth. 1. S. 1–32. 1890.





weiße Licht ausgeschlossen hat. Wenn man z. B. ein mit Kupferoxydul roth gefärbtes Glas, welches nur rothe Strahlen hindurchläßt, vor die Augen nimmt, den Kopf und die Ränder des Glases mit einem dunkeln Tuche umhüllt, so daß nur rothes Licht zu den Augen dringen kann, dann durch das Glas nach einer weißen Fläche sieht und vor diese ein schwarzes Object bringt, welches man plötzlich entfernt, so sieht man den Gegensatz zwischen dem rothgrauen Grunde und dem gesättigten Roth des Nachbildes ganz deutlich. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt offenbar darin, daß während des Anschauens der rothen Farbe des Grundes die betreffenden Theile der Netzhaut für Roth ermüden und es deshalb schwächer empfinden, als die unermüdeten Theile, auf welche das Bild des schwarzen Objects gefallen war. Ist das Roth auch noch mit Weiß gemischt, so nimmt die Empfindlichkeit für das Roth in einem stärkeren Verhältnisse ab, als für die übrigen Farben, die in dem beigemischten Weiß enthalten sind, und die Farbe muß deshalb durch die Ermüdung der Netzhaut verhältnißmäßig weißlicher werden; da sie aber auch gleichzeitig lichtschwächer wird, erscheint sie grau. Dasselbe geschieht nun aber nicht bloß mit weißlichem Roth, sondern auch mit ganz reinem Roth, und hier wird man die Erklärung theils von dem Lichtnebel des dunkeln Gesichtsfeldes, theils von der gemischten Natur der Eindrücke sämtlicher Spectralfarben herleiten müssen.

Wenn die primäre Farbe complementär zu der reagirenden Farbe des Grundes ist, so erscheint die letztere in der Ausdehnung des Nachbildes gesättigter als auf den nicht ermüdeten oder durch die Farbe des Grundes ermüdeten Theilen der Netzhaut. Wenn man auf einen rothen Grund ein blaugrünes Object legt, und nachdem man es eine Weile fixirt hat, es wegzieht, so erscheint ein gesättigt rothes Nachbild, ähnlich als hätte man ein schwarzes Object weggenommen. Man kann sich aber leicht überzeugen, daß die Farbe im Nachbilde eines complementären Objects noch gesättigter ist, als im Nachbilde eines schwarzen Körpers. Am einfachsten ist es, sich ein Object zu verfertigen, von dem ein Theil schwarz, ein anderer farbig, z. B. blaugrün ist, dies auf einen complementären (rothen) Grund zu legen, und einen Punkt des Grundes dicht an der Grenze des Schwarz und Blaugrün zu fixiren. Nimmt man das Object dann weg, so erscheint in dem ganzen Nachbild die Farbe des Grundes klarer als in dem vorher unbedeckten Theile des Grundes. Das Nachbild des Blaugrün ist etwas dunkler als das des Schwarz, aber es ist nicht das Roth, welches dort lichtschwächer wäre, vielmehr erscheint das Roth im Nachbilde des Schwarz wie von einem weißlichen Nebel übergossen, welcher im Nachbilde des Blaugrün das Roth freiläßt. Es erscheint also das Nachbild des Roth auf Roth grauroth, des Schwarz auf Roth weißroth, des Blaugrün auf Roth gesättigt roth. Man sieht diese Unterschiede sehr gut, wenn man bei diesen Versuch alle drei Nuancen neben einander hat.

Setzt man voraus, daß das Roth des Grundes noch Weiß enthält, so



ist, gegen welche die scheinbare Helligkeit des Lichtnebels doch wohl zu klein erscheint. Folgen wir dagegen der Annahme von TH. YOUNG, so würden wir hier die reinen Farbenempfindungen der einzelnen Nervenarten vor uns haben, gegen welche die Spectralfarben immer noch weißlich erscheinen müssen, weil nach der nothwendigen Modification jener Annahme jede einzelne Art homogenen Lichts nicht bloß eine einzige Art von Nervenfasern ausschließlicly erregen kann. 371

Alle diese Versuche über Nachbilder farbiger Objecte auf farbigem Grunde kann man nun auch so anstellen, daß man den Fixationspunkt wechselt, oder das Object dem Auge nähert und wieder davon entfernt, wie dies vorher für weiße Objecte beschrieben ist. Hat man zum Beispiel eine blaue Scheibe auf gelbem Grunde eine Weile so betrachtet, daß man einen Punkt derselben fixirt, und wechselt nun den Fixationspunkt, so fällt das Nachbild der blauen Scheibe zum Theil auf den Grund, zum Theil auf die Scheibe; ebenso das Nachbild des Grundes. Wo das Nachbild der Scheibe auf den Grund fällt, erscheint das Gelb gesättigter, ebenso das Blau, wo das Nachbild des Grundes auf die Scheibe fällt. Dagegen erscheint das Blau und Gelb mit Grau gemischt, wo das Nachbild der Scheibe auf die Scheibe, und das Nachbild des Grundes auf den Grund fällt. Der Erfolg der übrigen Abänderungen dieser Versuche läßt sich leicht übersehen. Zuweilen mischen sich auch Contrasterscheinungen ein. Hat man ein weißes Papierschnitzelchen auf rothem Grunde fixirt, und wirft dann das Nachbild auf Weiß, so ist das Nachbild des rothen Grundes blaugrün, das des kleinen weißen Feldes roth durch Contrast zu jenem Grün, wie sich im nächsten Paragraphen zeigen wird. Am besten legt man zu dem Ende das farbige Papier auf ein weißes Blatt, auf das farbige dann ein weißes Schnitzelchen, welches man mit einer Pincette festhält, während man das farbige Blatt wegzieht. Schwach erscheint eine solche Contrastfärbung auch um das Nachbild eines farbigen Quadrats auf weißem Grunde.

Aber nicht nur farbige, sondern auch weiße Objecte geben farbige Nachbilder, in denen die Farben gewöhnlich mannigfach wechseln. Man bezeichnet diese Erscheinungen gewöhnlich als das farbige Abklingen der Nachbilder. Die Reihenfolge der Farben ist dabei verschieden, je nach der Dauer und der Intensität des primären Eindrucks. Die Farbenfolge nach momentaner Anschauung finde ich übereinstimmend mit FECHNER<sup>1</sup> und SEGÜIN.<sup>2</sup> Das ursprüngliche Weiß geht schnell durch grünliches Blau (SEGÜIN Grün) in schönes Indigblau, später in Violett oder Rosenroth über. Diese Farben sind hell und klar. Dann folgt ein schmutziges oder graues Orange, während dessen sich das positive Nachbild meist schon in ein negatives verwandelt, und im negativen Bilde wird dieses Orange oft noch ein schmutziges Gelbgrün. Nach sehr kurzer Einwirkung des primären Lichts ist meist das Orange die letzte Farbe, und das Bild schwindet, ehe es ne-

<sup>1</sup> FECHNER, *Pogg. Ann.* L. 220. 1840.

<sup>2</sup> SEGÜIN, *Annales de Chimie et de Physique*. 3. Ser. XLI. 445—446. 1850.



nimmt für alle Farben continuirlich ab, aber so, daß die Abnahme des Roth im Anfang die schnellste, nachher die langsamste ist, die des Grün anfangs die langsamste, nachher die schnellste.

Bei den dargestellten Größen der Farbeempfindung wird in der Zeit von 0 bis 1 Blaugrün überwiegen, bei 1 Blau, bei 2 Violett, bei 3 Purpur, welcher all-

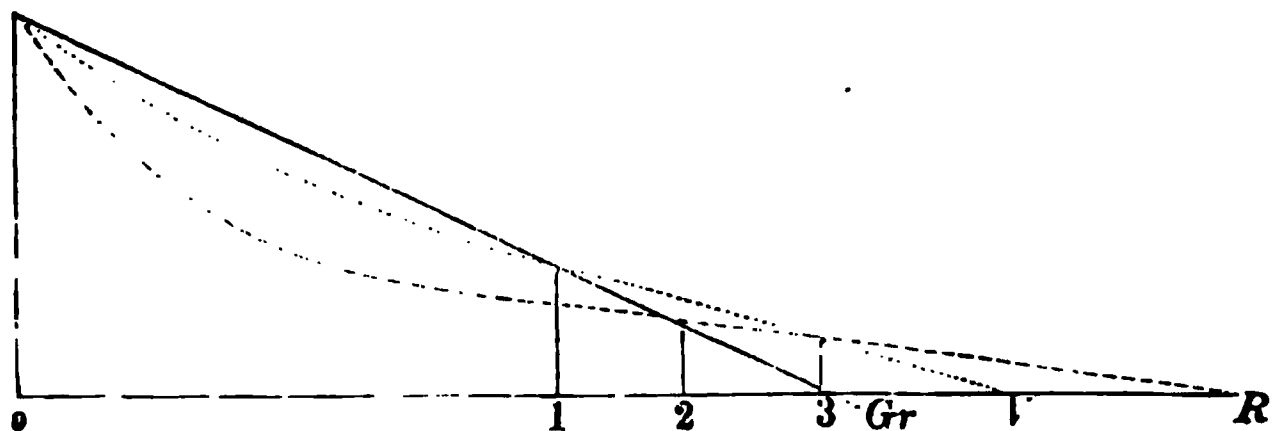


Fig. 193.

mähig sich mehr in das Rothe zieht. Nun mischt sich in Wirklichkeit aber die Ermüdung ein, welche in dem weißlichen inneren Lichtnebel ein grünliches Nachbild entwickelt, so daß also die Ermüdung für Grün, dessen nachbleibende Erregung am schnellsten geschwunden ist, schließlich am geringsten zu sein scheint. Dieses grüne negative Bild, mit positivem Roth gemischt, wird ein Gelb geben, welches je nach der größeren Stärke des einen oder anderen heller oder dunkler, als der Grund erscheinen kann, und zuletzt in Grün übergeht, wenn auch das Roth erlischt. Bei PLATEAU'S Versuchen über die Dauer der Farbeindrücke stellte sich dasselbe Gesetz der Abnahme heraus, daß diejenigen Eindrücke, welche im Anfang am schnellsten abnahmen, schließlich am längsten in schwachen Resten dauerten. Ganz anders gestaltet sich die Reihe der Farbenerscheinungen, wenn die Ermüdung größer geworden ist, wie es nach längerer Einwirkung weißen Lichts, oder nach Einwirkung sehr intensiven Lichtes stattfindet. Bei längerer Einwirkung weißen Lichtes zeigt sich nach FECHNER'S Beobachtungen der Einfluß der Ermüdung schon während der Betrachtung des Weißs dadurch, daß dieses farbig wird. Nachdem er die Augen eine Zeit lang geschlossen gehalten hatte, um die Nachwirkung früherer Eindrücke zu beseitigen, richtete er dieselben auf ein weißes im Sonnenschein auf schwarzem Papier liegendes Feld. In den ersten Momenten ließ sich wegen einer Art von Blendung kein sicheres Urtheil über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Farbe fällen; eine solche scheint sich in der That erst nach einiger Zeit zu entwickeln. Bald nämlich färbt sich das Papier entschieden gelb, dann blaugrau oder blau, ohne daß bei oftmaligen Versuchen eine Übergangsstufe durch Grün wahrzunehmen gewesen wäre, dann rothviolett oder roth. Die gelbe Phase ist die kürzeste; die blaue dauert oft ziemlich lange, ehe sie in die folgende übergeht. Nach der rothen oder rothvioletten konnte er keine weitere wahrnehmen, obgleich er den Versuch bis zu großer Anstrengung des Auges fortsetzte. Auch im verbreiteten Tageslichte nahm er die angegebene Folge der Färbungen oft wahr, obschon einmal mit größerer Entschiedenheit als das andere Mal; die beiden letzten Färbungen erkannte er hier in der Regel leichter als die erste gelbe. FECHNER stellt die Erscheinungen durch drei Curven, aber mit



der Lichtwirkung unterworfen wird, als die dem Rande jenes Bildes näheren. An den Sonnenkörper selbst schließt sich ringsum der Widerschein des in der Atmosphäre und im Auge selbst diffus zerstreuten Lichts. Wenn man das im Dunkel ausgeruhte Auge plötzlich für einen Augenblick nach der Sonne blicken läßt, so erkennt man in der blendenden Lichtfläche kaum die Umrisse des Sonnenkörpers. So hat man denn in diesen Fällen immer eine vom Centrum nach der Peripherie hin allmählig abnehmende Lichtwirkung, und der entspricht im Nachbilde ein verschiedener Verlauf der einzelnen Phasen. Je intensiver die Wirkung, desto langsamer verlaufen im Ganzen die einzelnen Phasen, so daß man am Rande des Nachbildes meist die früheren Stadien sieht, welche allmählig gegen das Centrum vorrücken. Außerdem ist die Reihenfolge der Farben in den peripherischen Theilen wegen der geringeren Ermüdung meist etwas abweichend von der in der Mitte. Das Nachbild hat in seinen ersten Stadien dieser Erklärung entsprechend einen größeren Umfang als die scheinbare Gröfse der Sonne beträgt, und man verfällt leicht in den Fehler, das ganze Nachbild für das Bild der Sonnenscheibe allein zu halten, und zu glauben, daß die verschiedenen farbigen Ringe, die sich darin entwickeln, dieser selbst angehören, während sie in Wirklichkeit ihrer Umgebung entsprechen. Um das Nachbild 375 der Sonne möglichst regelmäfsig zu entwickeln, nehme ich ein sehr dunkel gefärbtes Glas (oder ein berufstes Glas oder mehrere complementär gefärbte Gläser über einander gelegt), sehe damit nach der Sonne hin, welche durch das Glas nur noch als eine schwach sichtbare Lichtscheibe erscheinen muß. Dann nehme ich das Glas für einen Moment weg, und schliesse sogleich die Augen. So werden dieselben verhältnißmäfsig wenig angegriffen, und haben wenig Zeit, ihre Stellung zu verändern, während doch das Nachbild sich sehr glänzend entwickelt. Unter diesen Umständen finde ich auch im Nachbilde meist einen Kern, welcher in seiner ganzen Ausbreitung eine gleichmäfsige Färbung hat, und ziemlich die Gröfse der scheinbaren Sonnenscheibe besitzt, so daß man die Abweichungen, welche am Rande vorkommen, den Fehlern der Brechung im Auge zuschreiben kann.

Man sieht unter diesen Umständen in der Umgebung des Sonnenbildes schnell die Phasen des Nachbildes verlaufen, welche weisse Gegenstände nach momentanem Anblick geben. Positives Blau, Rosaroth, welches durch Gelb in negatives Dunkelgrün übergeht, während das Bild der Sonne selbst in dieser ersten Phase als ein verwaschener, nicht regelmäfsig runder weifser Fleck erscheint, der ungefähr zu der Zeit, wo der Grund rosenroth geworden ist, in die zweite Phase tritt, und sich hellblau färbt. Die zweite geht meist schnell in die dritte Phase über, indem das Blau zuerst am Rande, dann auch in der Mitte grün wird, während am Rande ein rothgelber Saum entsteht, der dunkler als die Umgebung ist, und an dessen äufserem Rande sich dann auch wohl schon in dieser Phase ein noch dunklerer blaugrauer Saum abzeichnet. Richtet man die Augen während dieser Phase auf ein weisses Feld, so verwandelt sich das positive Grün durch Violett in das negative Blutroth der folgenden Phase.











ein negativ rother Rand. Prismatisches Blau erzeugte mir ebenfalls den purpurnen Saum, während die Umgebung complementär Goldgelb gefärbt erschien.

Homogenes Violett erhielt FECHNER mittels einer dicken Schicht schwefelsaurer Kupferlösung, mit Ammoniak versetzt, und eines violetten Glases. Die Sonne erschien bläulichweiß. Ebenso anfangs das Nachbild; es bekam dann einen dunkelvioletten, um diesen einen schwarzrothen Umring, die Umgebung grünlich. Die Erscheinung verschwand, ehe der Umring central wurde.

In allen diesen Fällen zeigt sich, wo der Saum des Nachbildes anfängt negativ zu werden, der rothe Saum, der auch bei den Nachbildern des Weißs eintritt, als wäre die homogene Farbe mit Weiß gemischt, dessen Abklingungsphasen sich merklich machen zu der Zeit, wo die positive Nachwirkung der Hauptfarbe mit der complementären negativen sich im Gleichgewicht hält.

Wenn das primär gesehene weiße oder farbige Licht von geringer Stärke oder bei mässiger Stärke von sehr geringer Dauer ist, so bleiben positive Bilder zurück, die durch sehr schwach gefärbte weißliche Töne abklingen, deren Farbenton schwer zu benennen ist und durch Contraste in der auffälligsten Weise abgeändert werden kann, wodurch denn die sonderbarsten scheinbaren Widersprüche in den Resultaten eintreten. Hat man viele verschieden gefärbte Objecte im Gesichtsfelde, so blassen die Farbenunterschiede im Nachbilde aus. Dieser Art scheinen auch die von AUBERT bei Beleuchtung farbiger Objecte mit dem elektrischen Funken erhaltenen Nachbilder gewesen zu sein. So erscheinen ihm rothe Quadrate auf Weiß im Nachbilde roth, ein breiterer rother Streifen, aus demselben Papier geschnitten, mit weißen Quadraten auf weißem Grunde dagegen grün. Das Nachbild blauer und gelber Streifen mit schwarzen Quadraten auf schwarzem Grunde erschien ihm immer gelb, auf weißem Grunde lieferten beide Streifen blaue Nachbilder. Wovon diese Verschiedenheiten abhingen, bleibt noch zu ermitteln.

380     Andere Erscheinungen des farbigen Abklingens beobachtet man an rotirenden Scheiben, welche schwarze und weiße Sectoren haben, und nicht so schnell rotiren, daß ein ganz continuirlicher Eindruck im Auge entsteht. Wenn man eine solche Scheibe anfangs langsam, dann allmählig schneller rotiren läßt, und sie anhaltend betrachtet, aber so, daß man vermeiden der bewegten Figur mit dem Blicke zu folgen, bemerkt man, daß das Weiß sich färbt, und zwar an dem vorangehenden Rande röthlich, an dem hinterher folgenden bläulich. Bei schwächerem Licht zieht der röthliche Farbenton mehr in das Rothgelbe, der bläuliche in Violett, bei stärkerem der erste in Rosaroth, der letztere in Grünblau. Bei langsamer Rotation ist der bläuliche Ton anfangs über einen breiteren Theil des Weißs ausgedehnt als der röthliche. Bei schneller Rotation dagegen breitet sich das Roth als Rosaroth über das ganze Weiß aus, während das Grünblau auf die schwarzen Sectoren hinübrückt; im Ganzen erscheint dann auf der Scheibe das Violett zu über-





ist, verschwindet bei recht starrem Hinblicken zuweilen die ganze Figur, und es wird anscheinend hinter ihr ein dunkelrother Grund sichtbar, in welchem eine große Menge in einander verschlungener Strömungen vorhanden zu sein scheint, eine Erscheinung, in der VIERORDT<sup>1</sup> den Blutlauf der Netzhautgefäße zu erkennen glaubt. In meinen eigenen Augen entspricht das Bild dieser Bewegung mehr uferlosen Strömungen, die fortdauernd ihr Bett wechseln und sich hin und her schieben. Man könnte allerdings daran denken, daß die intermittirende Beleuchtung die Bewegung der Blutkörperchen sichtbar mache, ebenso wie man dadurch die Bewegungen und Formen der Tropfen eines ausfließenden Strahls sichtbar macht. Aber was ich selbst davon gesehen habe, würde ich nicht wagen für Blutbewegung zu erklären, eher glaube ich, daß Lymphkörperchen, welche im Blute sparsamer vorkommen als helle Flecke, die durch das Gesichtsfeld schießen, dabei sichtbar werden.

Läßt man auf den flimmernden Scheiben farbiges Licht mit Schwarz wechseln, indem man entweder auf den Scheiben farbige Sektoren anbringt, oder die schwarzweißen Scheiben durch farbige Gläser betrachtet, so zeigen auch unter diesen Umständen selbst homogene Farben Spuren von farbigem Abklingen. Sieht man z. B. durch ein rothes Glas, welches keine andere Farbe als Roth hindurchläßt, so erscheint der vorausgehende Rand der hellen Felder orange, der nachfolgende rosaroth, entsprechend dem gelb und blau im weißen Licht. Der schwarze Grund überzieht sich gleichzeitig mit complementärem Grün. Noch deutlicher wird die Complementärfarbe,<sup>2</sup> wenn man von den Spiralbändern das eine farbig, das andere grau macht, die Scheibe eine Weile laufen läßt und dann plötzlich anhält, oder auch wenn man mit einer Scheibe mit abwechselnd farbigen und weißen oder grauen Sektoren ebenso verfährt. SIXSTEDEN<sup>3</sup> brauchte zu demselben Zwecke eine orangerothe Scheibe mit ausgeschnittenen Sektoren, die über einer weißen, beschatteten lief. Wenn er die obere anhielt, erschien die untere lebhaft blau.

Äehnliche Erscheinungen erhielt auch E. BRÜCKE, indem er eine kleine schwarze Scheibe vor einer farbigen Glastafel in schwingende Bewegung setzte. Namentlich auffallend war dabei die Erscheinung vor einer grünen Scheibe, indem die Stellen, vor denen Hell und Dunkel wechselte, rosaroth erschienen, die ganz bedeckten und ganz unbedeckten dagegen grün.

Ein eigenthümliches vielleicht hierher gehöriges Phänomen sind die 383 sogenannten flatternden Herzen. Auf farbigen Blättern aus steifem Papier sind Figuren von einer anderen lebhaften Farbe angebracht; am besten scheinen Roth und Blau zu wirken, die Farben müssen sehr lebhaft und gesättigt sein. Wenn man die Blätter betrachtet und mit einer gewissen Geschwindigkeit hin und her bewegt, scheinen die Figuren selbst gegen das Papier sich zu verschieben und auf diesem hin und her zu schwanken. Der

<sup>1</sup> VIERORDT, *Archiv für physiol. Heilkunde*. 1856. Heft II.

<sup>2</sup> H. W. DOVE in *Pogg. Ann.* LXXV. 526. 1848.

<sup>3</sup> SIXSTEDEN, *Ebenda*. LXXXIV. 45. 1850



Grund der Erscheinung scheint darin zu liegen, daß der Lichteindruck im Auge für die verschiedenen Farben nicht gleich schnell zu Stande kommt und vergeht, und deshalb das Blau in der von dem Blatte beschriebenen Bahn scheinbar etwas hinter dem Roth zurückbleibt. Etwas Aehnliches wird auch wahrgenommen, wenn man das Auge statt des Objects bewegt. So sahen WHEATSTONE,<sup>1</sup> BRÜCKE und E. DU BOIS-REYMOND<sup>2</sup> bei Gasbeleuchtung, wenn sie das Auge über rothe und grüne Tapeten hinstreifen ließen, daß das Muster sich scheinbar bewegte. Nach BREWSTER sieht man es auch, wenn helles Tageslicht durch ein kleines Loch in ein sonst dunkles Zimmer fällt.

Ich habe in der bisher gegebenen Darstellung mich der namentlich von FECHNER durchgeführten Ansicht angeschlossen, wonach alle Erscheinungen der Nachbilder theils in einer noch fortbestehenden Reizung der Netzhaut, theils in einer verminderten Reizempfindlichkeit derselben ihren Grund finden. In der That, wenn man die bisherige Bedeutung des Begriffs Reizung und Reizempfindlichkeit festhält, müssen wir von fortbestehender Reizung sprechen, wenn ein Auge im absolutem Dunkel ein positives Nachbild sieht, und wir müssen die Reizempfindlichkeit als vermindert betrachten, wenn das Auge am Orte eines negativen Nachbilds äußeres Licht schwächer empfindet, als mit der nicht ermüdeten Netzhaut. Da also Reizung fortbesteht und die Reizempfindlichkeit vermindert sei, ist keine Hypothese, sondern unmittelbarer Ausdruck der Thatsachen. Auch genügen diese beiden Umstände, um die bei weitem größte Zahl der augenfälligeren und constanten Erscheinungen dieses Gebiets zu erklären, namentlich die Erscheinungen der veränderten Lichtintensität, der positiven gleichfarbigen und negativen complementären Nachbilder. Ob wir es dabei nur mit einer Störung der Thätigkeit der Nervensubstanz zu thun haben, und wieviel dabei vielleicht die photochemischen Veränderungen der Pigmente der Retina mitspielen müssen wir vorläufig dahingestellt sein lassen. Die sehr zusammengesetzten Erscheinungen des farbigen Abklingens starker oder anhaltender Lichteindrücke vollständig auf ein einfaches Schema zurückzuführen, möchte freilich vor der Hand noch schwer sein und allerlei willkürliche Annahmen nothwendig machen. Indessen läßt sich einsehen, warum diese Erscheinungen so veränderlich sein müssen. Wir kennen eben weder das Gesetz, wonach eine mehr oder weniger vorgeschrittene Ermüdung des Auges für die einzelnen Farben verschwindet, noch die Abhängigkeit, in welcher die Stärke des nachbleibenden Lichteindrucks von der Ermüdung steht. Die negativen complementären Bilder im dunkeln Gesichtsfelde sind hierbei nach FECHNERS Ansicht als veränderte Empfindungsweisen der inneren Reize der Netzhaut anzusehen. Viele Physiker haben dagegen diese Bilder als Wirkungen einer neuen entgegengesetzten Thätigkeit der Netzhaut angesehen, und namentlich hat PLATEAU<sup>3</sup> diese Ansicht zu einer zusammenhängenden Theorie ausgebildet. Er wies nach, daß man dergleichen complementär gefärbte Bilder auch beim gänzlichen Mangel alles äußeren Lichtes sehen könne, und da er auf das Eigenlicht des Auges noch nicht aufmerksam geworden war, wußte er die Erscheinung eben nicht anders als durch

<sup>1</sup> WHEATSTONE, *Iust.* No. 582. p. 75. 1845.

<sup>2</sup> BRÜCKE und E. DU BOIS-REYMOND, *Die Fortschritte in der Physik im Jahre 1845*, redig. von KARSTEN. I. 223.

<sup>3</sup> J. PLATEAU, *Ann. de Chim. et de Phys.* LIII. 386. 1833. *Pogg. Ann.* XXXII. 543. 1833.

eine neue entgegengesetzte Thätigkeit der Netzhaut zu erklären. Da er weiter auch noch spätere Wechsel des positiven und negativen Bildes bemerkte, so stellte er den Satz auf, daß die Netzhaut nach jedem heftigen Lichteindruck erst durch eine Reihe von Oscillationen zur Ruhe käme, wobei sie abwechselnd nach einander entgegengesetzte Zustände durchlaufen sollte. Diese entgegengesetzten Zustände entsprächen der Empfindung complementärer Farben. Er brachte dies in Verbindung mit gewissen Contrasterscheinungen, die im nächsten Paragraphen näher besprochen werden sollen, und nahm auch für die räumliche Ausbreitung des Eindrucks eine Reihe solcher Oscillationen an. Dagegen ist eben zu erinnern, daß die negativen complementären Nachbilder nicht in einer activen Thätigkeit der Netzhaut bestehen, sondern im Gegentheile als Verminderungen der schon vorher bestehenden inneren Lichtempfindung sichtbar werden; und daß ferner jene Wechsel zwischen positiven und negativen Bildern, wie man bei genauer Aufmerksamkeit fast immer erkennt, von äußeren Umständen, namentlich von schwachen Änderungen in der Beleuchtung des Augengrundes abhängen. Ich halte es für sehr mißlich, diese zarten, äußerst schwankenden Erscheinungen, wie es die Nachbilder zur Zeit ihres Kampfes zwischen positiv und negativ im dunkeln Gesichtsfelde sind, bei der hoch gesteigerten Empfindlichkeit des Organs, welches lange im Dunkeln verweilt hat, wo nachweisbar kaum wahrnehmbare äußere Einflüsse die Verwandlung des Bildes herbeiführen, als Basis einer Theorie zu benutzen. Wir dürfen uns aber nicht wundern, wenn wir unter diesen Umständen noch nicht immer den Grund der eintretenden Veränderungen zu bezeichnen wissen. Übrigens hat schon FECHNER auf eine andere Schwierigkeit von PLATEAUS Theorie aufmerksam gemacht. Dieser muß nämlich annehmen, daß bei den Nachbildern die complementären Farben als entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut sich einander aufheben und Dunkelheit erzeugen. Wenn z. B. ein complementär gefärbtes Nachbild besteht, ist die Wahrnehmung der primären Farbe beeinträchtigt. Wenn man nach einander das Auge durch grün und roth ermüdet hat, ist das Nachbild schwarz. Wie läßt sich aber diese Behauptung vereinigen mit der Thatsache, daß die gleichzeitig von objectivem complementären Lichte hervorgebrachten Empfindungen sich zu der von Weiß vereinigen, welches heller ist als jede der beiden Farben einzeln genommen?

BRÜCKE betrachtet die positiv complementären Nachbilder als unvereinbar mit FECHNERS Theorie. Ich habe schon vorher darauf aufmerksam gemacht, daß die Färbung dieser Bilder in der That sehr weißlich ist und nur durch den Contrast gegen die vorher gesehene primäre Farbe und den mangelnden Vergleich mit anderen Farben die complementäre Farbe so grell hervortritt. Hat man gleichzeitig zwei primäre Farben neben einander gesehen, so überzeugt man sich leicht davon, daß ihre Nachbilder in den letzten Augenblicken ihrer positiven Erscheinung nur einen geringen Hauch der complementären Farben zeigen, so daß ich glaube, diese Bilder als aus einem positiven weißlichen Nachbilde und einem negativen complementären gemischt ansehen zu dürfen und dadurch diese Erscheinung auch unter FECHNERS Erklärung fügen zu können. Zu erwähnen ist noch eine räthselhafte Erscheinung, die AUBERT beschreibt bei den Nachbildern von Gegenständen, die durch den elektrischen Funken beleuchtet waren. Hier sah er bei schwarzen und rothen Quadraten auf weißem Grunde scheinbar gleichzeitig mit dem überschlagenden Funken leuchtende negative Bilder. Diese fehlten aber bei weißen Quadraten auf schwarzem Grunde, zuweilen erschienen sie gegen das Urbild verschoben. Ihnen folgten erst die gleich-

farbigen positiven Bilder. Von farbigen Streifen auf weißem oder schwarzem Grunde sollen die Nachbilder immer complementär gefärbt und immer heller als der Grund gewesen sein.

385 Ich halte es überhaupt für gerathen, in diesem äußerst verwirrten Gebiete der mannigfaltigsten Erscheinungen eine theoretische Ansicht, die wie die FECHNER'sche bei weitem die größte Zahl der hierher gehörigen Erscheinungen leicht erklärt, und namentlich alle diejenigen gut erklärt, welche sich durch ihre Energie, Deutlichkeit und Constanz auszeichnen, als leitenden Faden festzuhalten, selbst wenn sich auch einzelne flüchtigere Erscheinungen finden, für welche man gegenwärtig noch keine ganz genügende Erklärung geben kann, wie es die Farbenwandlungen sind, die in dem Augenblicke erfolgen, wo das Bild aus positiv in negativ übergeht und wo die entgegengesetzten Einflüsse der nachdauernden Reizung und der Ermüdung sich in einem leicht veränderlichen Gleichgewichte befinden. Für jetzt habe ich noch keine Erscheinung auffinden können, welche entschieden unvereinbar mit FECHNER's Erklärungsprincipien wäre.

Beschrieben werden die positiven und negativen Nachbilder der Fenster 1634 von PEIRESC.<sup>1</sup> Dann tritt der Versuch als eine Art Kunststück auf. BONACURSUS behauptete gegen den Jesuiten ATHAN. KIRCHER,<sup>2</sup> er könne bewirken, daß man im Finstern ebenso gut sehe, wie im Hellen, und behielt Recht, indem er KIRCHER im dunkeln Zimmer ein in einer Öffnung des Fensters befestigte Zeichnung starr betrachten ließ. Dann wurde das Zimmer ganz verdunkelt, und KIRCHER sah die Zeichnung deutlich wieder, indem er (was unnöthig war) nach einem in der Hand gehaltenen weißen Papier blickte. KIRCHER giebt die Erklärung dazu, daß das Auge das eingesogene Licht wieder ausstrahle und das vorgehaltene Papier beleuchte. MARIOTTE<sup>3</sup> wiederholte ähnliche Versuche. NEWTON kannte die Blendungsbilder, und soll sie für psychischer Natur erklärt haben,<sup>4</sup> weil die Nachbilder, welche durch Blicken nach der Sonne erzeugt waren, noch längere Zeit dadurch wieder hervorrufen konnte, daß er die Aufmerksamkeit auf sie richtete. Er wurde zu diesen Versuchen veranlaßt durch eine Anfrage von LOCKE, der sie in ROY BOYLES Buch über die Farben erwähnt gefunden hatte. Eine vollständigere Theorie der Erscheinungen gab dann JURIN<sup>5</sup> im Jahre 1738, und zwar gründete er sie theils auf die Fortdauer der Reizung, theils auf die Annahme, daß beim Aufhören einer stark angeregten Empfindung von selbst eine entgegengesetzte hervorgerufen würde. Ausführliche Beschreibungen der Erscheinungen gab BUFFON,<sup>6</sup> die dann später dem Pater SCHERFF<sup>7</sup> das Material zur Begründung seiner Theorie gaben. Dieser stellte im Gegensatz zu JURIN die Ansicht auf, daß die Nachbilder — er kennt fast nur negative — durch die verminderte Empfindlichkeit der ermüdeten Netzhaut entstehen. Dasselbe Princip wendet er auch zur Erklärung der complementären Farbe an, indem er sich dabei auf NEWTON's Farbenmischungsregel stützt. Eine andere etwas willkürlich aufgeputzte Theorie dieser Erscheinungen, die aber schon an PLATEAUS Oscillationen erinnert, gab GODART.<sup>8</sup> Eine Menge von Beobachtungen kamen weiter hinzu durch DARWIN,<sup>9</sup> namentlich über die

<sup>1</sup> PEIRESC, Vita. p. 175, 296. 1634.

<sup>2</sup> ATHAN. KIRCHER. Ars magna. p. 162. 1646.

<sup>3</sup> MARIOTTE, Oeuvres. p. 318. 1668.

<sup>4</sup> D. BREWSTER, Newton's Leben übers. von GOLDBERG. Leipzig 1833. S. 263.

<sup>5</sup> JURIN, Essay on distinct and ind. vis. p. 170 in Smith's Optics. Cambridge 1738.

<sup>6</sup> BUFFON, Mem. de Paris. 1743. p. 215.

<sup>7</sup> SCHERFFER, Abhandlung von den zufälligen Farben. Wien 1765. — Lateinisch vom Jahre 1761 auch im Journal de Physique de ROZIER. XXVI. 175 und 273. (1785).<sup>\*</sup>

<sup>8</sup> GODART, Journal de Physique. 1776. VIII. 1 und 269.

<sup>9</sup> DARWIN, Philos. Transact. 1786. LXXVI. 313. — Zoonomie übers. von BRANDIS. Hannover 1795. II. 387.

farbigen Nachbilder, durch AEPINUS<sup>1</sup> und DE LA HIRE<sup>2</sup> über das farbige Abklingen des Sonnenbildes, durch GERGONNE,<sup>3</sup> BROCKEDON,<sup>4</sup> der sie zugleich zu einer Theorie der ästhetischen Farbenharmonie zu verwenden suchte, LEHOT,<sup>5</sup> der namentlich auf die Erscheinungen aufmerksam machte, die bei plötzlicher Änderung der Entfernung eines farbigen Feldes entstehen, GOETHE,<sup>6</sup> BEER<sup>7</sup> über Verschwinden der Farben durch Hinstarren bei operirten Staarkranken, HIMLY und TROXLER,<sup>8</sup> PURKINJE,<sup>9</sup> OSANN,<sup>10</sup> SPLITTGERBER,<sup>11</sup> KNOCHENHAUER,<sup>12</sup> DOVE<sup>13</sup> über subjective Farben an bewegten Objecten, SINSTEDEN,<sup>14</sup> SCORESBY,<sup>15</sup> GROVE<sup>16</sup> über die Wiederbelebung von Nachbildern durch abwechselnde Erhellung und Verdunkelung des Gesichtsfeldes, SÉGUIN<sup>17</sup> (viele und genaue Beobachtungen über Abklingen der Farben), BRÜCKE,<sup>18</sup> AUBERT<sup>19</sup> über Nachbilder durch den elektrischen Funken erzeugt. 386

Von Versuchen zur theoretischen Zusammenfassung und Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen ist noch weiter zu erwähnen der Versuch von PRIEUR DE LA CÔTE D'OR,<sup>20</sup> sie auf das Princip des Contrastes zurückzuführen, ferner die von BREWSTER aufgestellte Ansicht,<sup>21</sup> daß die complementäre Farbe sich zugleich mit der gesehenen entwickle und diese trübe. Es liefen die entgegenstehenden Ansichten zuletzt aus in die beiden zusammenfassenden Arbeiten von PLATEAU<sup>22</sup> und FECHNER.<sup>23</sup> Der erstere brachte die Meinungen, welche entgegengesetzte Thätigkeiten der Netzhaut annehmen, in eine consequente Form, FECHNER dagegen, der mit einer außerordentlichen Selbstaufopferung auch gleichzeitig eine große Reihe genauer, selbst messender Versuche in diesem Gebiete ausgeführt hat, gab zuerst eine genügende Herleitung der negativen Bilder aus dem Princip der Ermüdung. Diese beiden Arbeiten bezeichnen im Wesentlichen noch den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft. Der Begriff der Ermüdung des Auges für eine einzelne Farbe bedurfte aber noch einer näheren Definition. Die Farben- theorie von TH. YOUNG gab eine solche. Um sie zu prüfen, habe ich die Versuche über die Nachbilder der Spectralfarben ausgeführt,<sup>24</sup> wobei ich auf die große Deutlichkeit der positiven Nachbilder nach momentaner Lichtwirkung aufmerksam wurde.

## § 24. Vom Contraste.

Wir haben im vorigen Paragraphen untersucht, wie nach einander ge- 388  
sehene Farben sich gegenseitig verändern. Es bleibt uns jetzt noch übrig

<sup>1</sup> AEPINUS, *Journ. de Phys.* XXVI. 291. 1776. — *Novi Comment. Petrop.* X. 286.

<sup>2</sup> DE LA HIRE, bei PORTERFIELD *on the eye.* I. 343.

<sup>3</sup> GERGONNE, *Journ. de Mathemat.* XXI. 291. 1830.

<sup>4</sup> BROCKEDON, *Quart. Journal of Sc.* N. XIV. 399: *Wiener Zeitschr.* VIII. 471.

<sup>5</sup> LEHOT, *Fechner, Repertorium* 1832. p. 229.

<sup>6</sup> GOETHE, *Farbenlehre.* I. 13, 20.

<sup>7</sup> BEER, *Das Auge oder Versuch das edelste Geschenk des Schöpfers zu erhalten.* S. 1—8

<sup>8</sup> HIMLY, *Ophthalmol. Bibl.* Bd. I. Stück 2. S. 1—20. Bd II. St. 2. S. 40.

<sup>9</sup> PURKINJE, *Beiträge.* I. 72, 96. 1819.

<sup>10</sup> OSANN, *Pogg. Ann.* XXXVII. 288. 1836.

<sup>11</sup> SPLITTGERBER, *Ebenda.* IL. 587. 1840.

<sup>12</sup> KNOCHENHAUER, *Ebenda.* LIII. 346. 1841.

<sup>13</sup> DOVE, *Ebenda.* LXXI. 112. LXXV. 524, 526. 1848.

<sup>14</sup> SINSTEDEN, *Ebenda.* LXXXIV. 45. 1850.

<sup>15</sup> SCORESBY, *Philosoph. Mag.* (4) VIII. 544. 1854.

<sup>16</sup> GROVE, *Ebenda.* (4) III. 485—486. 1852.

<sup>17</sup> SÉGUIN, *Ann. de Chimie et de Phys.* Sér. 3. XLI. 413—431. 1850. C. R. XXXIII. 642. XXXIV. 767. XXXV. 476. 1850.

<sup>18</sup> BRÜCKE, *Denkschr. d. k. k. Akad. zu Wien* III: *Pogg. Ann.* LXXXIV. 418. 1850.

<sup>19</sup> AUBERT, *Moleschott, Untersuchungen zur Naturl.* Bd. V. 279. 1858.

<sup>20</sup> PRIEUR DE LA CÔTE D'OR, *Ann. de Chimie.* LIV. p. 1. 1804.

<sup>21</sup> BREWSTER, *Phil. Mag.* II. 89. IV. 354. 1833. — *Pogg. Ann.* XXIX. LVI. 138.

<sup>22</sup> PLATEAU, *Ann. de Chimie et de Phys.* 1833. LIII. 386; 1835. LVIII. 337; *Pogg. Ann.* XXXII. 543. Am vollständigsten in *Essai d'une Théorie génér. comprenant l'Ensemble des apparences visuelles, qui succèdent à la contemplation des objets colorés.* Bruxelles 1834.

<sup>23</sup> FECHNER, *Pogg. Ann.* XXXIV. 221, 513. 1838. XXXV. 227; L. 193, 427. 1838.

<sup>24</sup> Öffentlich vorgetragen in der Sitzung der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn am 3. Juli 1858 und in der Naturforscherversammlung zu Karlsruhe September 1858.



gesetzt solche Helligkeiten beider Felder, daß eben nur negative Nachbilder zu Stande kommen.

Man kann sich nun leicht davon überzeugen, daß der successive Contrast, d. h. der durch Nachbilder verursachte, auch dann eine große Rolle spielt, wenn man farbige Felder, die neben einander im Gesichtsfelde stehen, mit einander vergleicht. Man hat in diesen Fällen meist nur simultanen Contrast zu sehen geglaubt, weil man bisher eine gewisse Eigenthümlichkeit des menschlichen Blicks in der Lehre vom Contraste wenig beachtet hat. Bei dem gewöhnlichen bequemen Gebrauche unserer Augen pflegen wir nämlich den Fixationspunkt fortdauernd langsam im Gesichtsfelde wandern zu lassen, so daß er nach einander über die verschiedenen Theile der betrachteten Objecte hingleitet. Dieses Wandern des Blicks geschieht unwillkürlich, und wir sind so daran gewöhnt, daß es eine außerordentliche Anstrengung und Aufmerksamkeit erfordert, auch nur 10 bis 20 Secunden lang den Blick ganz scharf auf einen bestimmten Punkt des Gesichtsfeldes zu fixiren. So wie wir das thun, treten auch sogleich ungewöhnliche Erscheinungen ein. Es entwickeln sich nämlich scharf gezeichnete negative Nachbilder der Objecte, die, so lange der Blick festgehalten wird, mit den Objecten zusammenfallen, und diese deshalb schnell undeutlich werden lassen. Deshalb tritt denn auch bald das Gefühl von Blendung und Anstrengung des Auges ein, so lange wir bei der Fixation des Gesichtspunktes beharren, der Trieb das Auge zu bewegen wird immer unwiderstehlicher und die kleinen Schwankungen seiner Stellung, welche ungeachtet unserer Anstrengung eintreten, verrathen sich dadurch, daß an den Rändern der Objecte bald rechts, bald links Theile der entstandenen negativen Nachbilder aufblitzen. Auch ist diese Wanderung des Blickes, wodurch auf sämtlichen Theilen der Netzhaut ein fortdauernder Wechsel zwischen stärkerer und schwächerer Erregung und zwischen den verschiedenen Farben unterhalten wird, offenbar von großer Bedeutung für die ungestörte Gesundheit und Leistungsfähigkeit des Sehnervenapparats. Denn nichts greift das Auge so an, als wenn man häufig negative Nachbilder durch langes Hinstarren nach selbst nur mäßig beleuchteten Flächen entwickelt. Starke negative Nachbilder sind ja immer Zeichen hoch gesteigerter Ermüdung der Netzhaut.

Überlegen wir nun, was geschieht, wenn bei diesem Wandern des Blicks verschieden farbige oder verschieden helle Felder im Gesichtsfelde liegen. Wenn wir ein begrenztes farbiges Feld mit genauer Fixation des Blicks auf einen Punkt desselben betrachten, entwickelt sich ein scharf begrenztes Nachbild, welches deshalb eben leicht zu erkennen ist. Wenn wir hinter einander zwei verschiedene Punkte des Objects eine Zeit lang fixirt haben, bilden sich zwei gut begrenzte Nachbilder aus, die sich zum Theil decken, aber schon nicht mehr so leicht, ohne besondere Aufmerksamkeit als Abbilder des Objects erkannt werden. Ist aber der Blick langsam über den Gegenstand hingegangen, ohne irgendwo anzuhalten, so ist das Nachbild natürlich nur ein verwaschener Fleck, und wird, obgleich es für den aufmerksamen





die des grossen. Aber die Contrastwirkungen fehlen auch nicht, wenn die beiden Felder gleich gross sind, dann ist der Einfluss ein gegenseitiger, und die Farbe eines jeden von beiden wird durch die Farbe des anderen geändert.

Endlich ist die Contrastwirkung desto grösser, je näher das inducirende 391 Feld dem reagirenden im Gesichtsfelde liegt, weil, wenn der Blick von dem einen zum anderen Felde hinübergleitet, das Nachbild desto stärker entwickelt ist, je schneller er das andere Feld trifft. Dies zeigt sich sehr deutlich bei der Anordnung, welche CHEVREUL für seine Versuche gewählt hat. Er schneidet von jeder der beiden Farben z. B. Gelb und Roth zwei Streifen zurecht, legt dann einen gelben und einen rothen Streifen dicht neben einander. Diese wollen wir bezeichnen mit  $G_1$  und  $R_1$ . Dann legt er neben den gelben Streifen  $G_1$  in kurzem Abstände einen zweiten gelben  $G_2$  und ebenso neben den rothen  $R_1$  einen zweiten  $R_2$ . Die Contrastwirkung macht sich dann nur an den beiden mittleren Streifen  $G_1$  und  $R_1$  merklich. Das Gelb von  $G_1$  wird grünlich, indem es sich dem zu  $R_1$  complementären Blaugrün nähert, und  $R_1$  erscheint purpurn, indem sich etwas Indigblau, die Complementärfarbe von  $G_1$ , zumischt. Dagegen erscheinen die beiden seitlichen Streifen  $G_2$  und  $R_2$  in unveränderter Färbung, und man hat dadurch gute Gelegenheit, die Contrastwirkung zu erkennen. Eben davon hängt es nun auch ab, daß, wenn etwas breitere Felder an einander stoßen, die Contrastfärbung namentlich an den Rändern hervortritt. Jedes Mal, wo der Blick von dem einen Felde  $A$  auf das andere  $B$  hinübergleitet, sind diejenigen Theile der Netzhaut, welche eben das Feld  $A$  verlassen, am meisten durch die Farbe  $A$  ermüdet, auf diese fällt nun das Bild der Randtheile von  $B$ . Weniger ermüdet sind diejenigen Netzhauttheile, welche etwas früher  $A$  verlassen haben, und schon weiter in das Feld  $B$  hineingerückt sind. Diesen erscheint deshalb die inducirte Farbe schwächer. So folgt, daß jedes Mal, wo der Blick zum Felde  $B$  übergeht, die Randtheile von  $B$  am meisten durch den Contrast verändert sind, die weiter vom Rande entfernten Theile im Verhältniss ihrer Entfernung weniger. Stößt also z. B. ein grünes und ein blaues Feld aneinander, so erscheint der Rand des Grün etwas gelblicher als die Mitte, der Rand des Blau etwas violetter als seine Mitte, weil dort das dem Blau complementäre Gelb sich zumischt, hier das dem Grün complementäre Purpurroth. Man kann das Spiel der Nachbilder am Rande solcher Flächen sehr gut beobachten, wenn man sich eine Reihe von Fixationspunkten bezeichnet, und den Blick nur springend bewegt, indem man ihn eine kurze Zeit auf jedem Fixationspunkte festhält. Dann sieht man deutlich die wohlbegrenzten Nachbilder sich auf das andere Feld hinüberschieben. Die älteren, weiter vorgeschobenen sind blasser, die neuesten, welche dem Rande am nächsten bleiben, sind stärker.

Handelt es sich nicht um Unterschiede der Farbe, sondern der Helligkeit, so findet man, daß die Helligkeit des reagirenden Feldes neben einem helleren inducirenden vermindert erscheint, neben einem dunkleren dagegen vergrößert.





zeigen, während umgekehrt die Erscheinungen des successiven Contrastes durch starke Gegensätze der Farbe und Beleuchtung begünstigt werden.

Übrigens ist zu bemerken, daß bei sehr dauernder starrer Fixirung <sup>n</sup> auch auf sehr schwach gefärbten Feldern sich Nachbilder entwickeln, wie ich schon auf S. 511 beschrieben habe, welche den Gegensatz der Farben gänzlich auslöschen und damit auch den Contrast, übrigens bei gelegentlicher Wendung des Blicks deutlich sichtbar werden, so daß man bei den Versuchen über simultanen Contrast überhaupt nur kurze Beobachtungszeit anwenden darf.<sup>1</sup>

Die hierher gehörigen Erscheinungen scheinen mir von ganz anderer <sup>392</sup> Art zu sein, als die bisher betrachteten. Sie lassen sich im Allgemeinen charakterisiren als Fälle, in denen eine genaue Beurtheilung der reagirenden Farbe durch Vergleichung mit anderen als der inducirenden nicht möglich ist. In solchen Fällen sind wir geneigt, diejenigen Unterschiede, welche in der Anschauung deutlich und sicher wahrzunehmen sind, für gröfser zu halten als solche, welche entweder in der Anschauung nur unsicher heraustreten, oder mit Hülfe der Erinnerung beurtheilt werden müssen. Es ist dies wohl ein allgemeines Gesetz bei allen unseren Wahrnehmungen. Ein Mensch mittlerer Gröfse <sup>393</sup> neben einem sehr grofsen sieht klein aus, weil wir im Augenblick deutlich sehen, daß es gröfsere Menschen giebt, aber nicht, daß es auch kleinere Menschen giebt. Derselbe Mensch mittlerer Gröfse, neben einen kleinen gestellt, wird grofs aussehen.

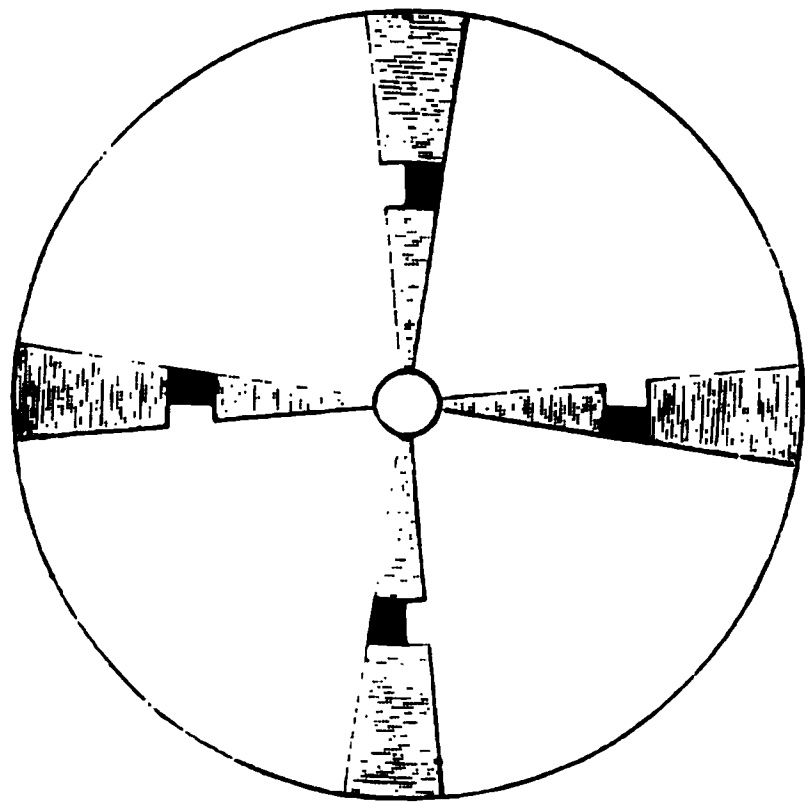
In der Lehre von den Wahrnehmungen werden wir noch vielen Fällen <sup>n</sup> ähnlicher Art begegnen.

Die Bedingungen, welche erfüllt werden müssen, um eine sehr genaue Wahrnehmung der Farbenunterschiede und Helligkeitsunterschiede zwischen zwei verschiedenen an einander stossenden Flächenstücken des Gesichtsfeldes zu erreichen, sind § 16 bei den Methoden der Photometrie erörtert worden. Es geschieht dies, wie wir gesehen haben, am sichersten, wenn beide im Gesichtsfelde ganz dicht an einander stoßen, und ihre Grenze durch nichts weiter als ihren Farbenunterschied bezeichnet ist. Selbst der feinste, eben noch sichtbare Schattenstrich zwischen ihnen macht die Vergleichung unsicherer. Um so gröfser wächst die Unsicherheit, wenn breitere Felder mit grofsen Unterschieden der Beleuchtung sich zwischen die zu vergleichenden einschieben, und am aller unsichersten wird die Vergleichung, wenn ein gegenwärtiger Eindruck mit dem Gedächtnisbilde eines früheren verglichen werden muß. Und eben die leicht beobachtbare und zweifellos constatirte Thatsache, daß die besprochenen Bedingungen für die möglichst genaue Ausführung einer photometrischen Messung eingehalten werden müssen, zeigt doch deutlich an, daß, wenn diese Bedingungen nicht erfüllt sind, die Vergleichung

<sup>1</sup> Ich gebe zu, daß einige meiner früheren Versuche durch diesen Umstand beeinflusst sein können, und lasse deshalb einige Versuche der früheren Auflage fort, die nicht in hinreichend kurzer Zeit ausgeführt werden können.

einer Farbe oder Helligkeit mit einer anderen, beziehlich mit dem, was wir als das Muster derselben betrachten, an das sich ihr Namen nach gewöhnlichem Sprachgebrauch heftet, nothwendig mit einem größeren oder geringeren Grade von Unsicherheit behaftet ist, und daß wir uns nicht wundern dürfen, wenn wir in solchen Fällen Irrthümer in der Abschätzung des betreffenden Farbeneindrucks begehen, die sich als solche erkennen lassen, wenn man die Vergleichung unter besseren Bedingungen ausführt. Diese Unsicherheit aber empfinden wir nicht als solche, sondern jeder gegenwärtige Gesichtseindruck erscheint uns, so lange wir ihn vor uns haben, als ganz bestimmt. Daß wir also bei unsrer Abschätzung der Gleichheit oder Ungleichheit dieses Farbeindrucks mit irgend einem bestimmten Muster, was wir im Sinn haben, Irrthümer begehen, ist durchaus nicht verwunderlich. Was einer Erklärung bedarf, ist eigentlich nur der Umstand, daß diese Irrthümer in der Mehrzahl der Fälle in einem bestimmten Sinne ausfallen und nicht regellos hin- und herschwanken. Die Überschätzung der deutlichen Unterschiede scheint mir hier das meist entscheidende Motiv zu sein. Daneben scheinen aber auch gelegentlich andere Momente, welche aus den Erfahrungen über die Erscheinungsweisen von Körperfarben genommen sind, unsere Schätzung der gesehenen Farben zu beeinflussen.

Einer der Fälle, der von solchen anderen Einflüssen leicht frei gehalten werden kann, läßt sich auf Farbenkreiseln herstellen, wenn man in einer Scheibe wie *Fig. 197* schmale farbige Sektoren auf weißen Grund setzt, so



*Fig. 197.*

aber in mittlerer Entfernung vom Mittelpunkte durch einen aus Schwarz und Weiß zusammengesetzten Streifen unterbricht, so daß beim Umdrehen eigentlich ein grauer ringförmiger Streifen auf schwach gefärbtem weißlichen Grunde entstehen sollte. In der That sieht dieser Ring aber nicht grau, sondern complementär gefärbt aus, und zwar am intensivsten, wenn er gleiche oder etwas geringere Helligkeit als der Grund hat. Ist die Breite der farbigen Sektoren groß, und dadurch die Farbe des Grundes zu intensiv, so ist die

Complementärfarbe des Ringes schwächer, oder wenigstens zweifelhafter als bei schwacher Färbung des Grundes; ebenso wenn man den grauen Ring mit zwei schmalen schwarzen Kreislinien einfasst, die ihn scharf vom Grunde abgrenzen. Es fehlt in den letzteren Fällen die Contrastfärbung vielleicht nicht ganz, aber sie ist mit einer erheblichen Unsicherheit des Urtheils über die Farbe des inducirten Feldes verbunden, und durch Vergleichung mit einem neben dem Farbenkreisel befindlichen weißen Felde kann man leicht zu dem Resultate gelangen, daß das inducirte Feld wirklich weiß sei, während ohne

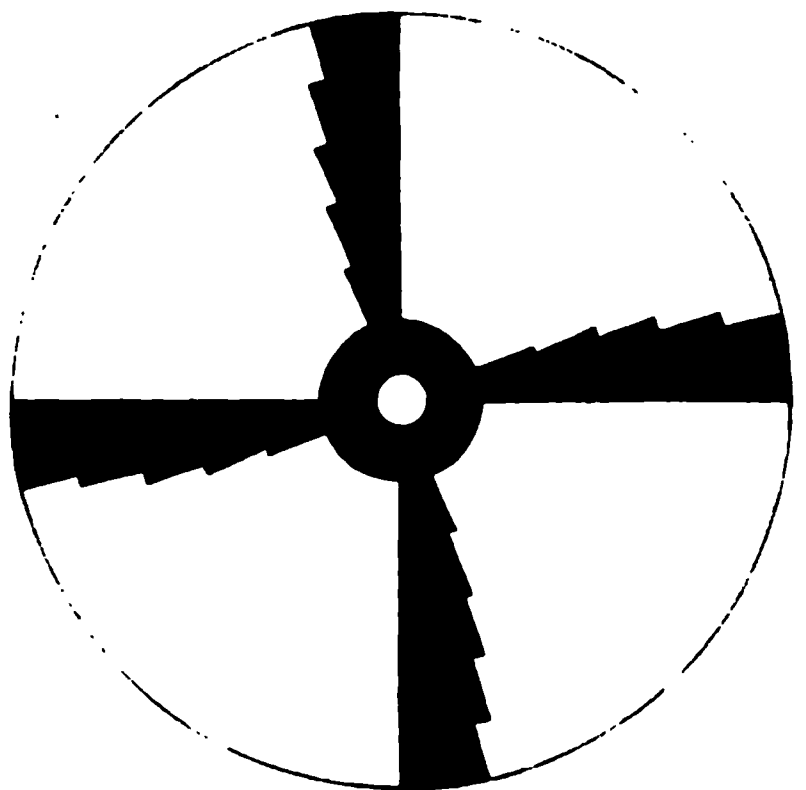
die Kreislinsen die complementäre Contrastfarbe sich mit zweifelloser Bestimmtheit der Wahrnehmung aufdrängt.

Deutlich zeigt sich der Contrast auch, wo die inducirte Fläche an entgegengesetzten Seiten mit zwei verschiedenen Farben in Berührung tritt. Dann wird jene an den entsprechenden Rändern complementär gefärbt, oder wenn die inducirte Fläche mit einem Rande an eine dunklere, mit dem anderen an eine hellere Fläche stößt, erscheint der erstere Rand heller, der letztere dunkler. Diese Contrasterscheinungen sind aber ebenfalls nur dann deutlich, wenn das inducirende vom inducirten Felde eben nur durch den Unterschied der Farbe oder der Helligkeit geschieden ist, und keine andere Begrenzung existirt.

Man kann solche Versuche leicht unter einer transparenten Papierdecke ausführen. Man klebe ein Blatt grünen und rosenrothen Papiers zusammen, so daß man ein Blatt erhält, welches zur Hälfte grün, zur Hälfte rosenroth ist. Am Orte der Grenzlinie zwischen beiden Farben befestige man ein Streifen grauen Papiers, und lege über das ganze ein ebenso großes Blatt dünnen Briefpapiers. Es wird nun der graue Streifen, wo er an das Grün stößt, rosenroth, und wo er an Roth stößt, grün erscheinen, in seiner Mitte gehen die beiden Farben in einander über durch einen unbestimmten Farbenton, der wohl eigentlich Grau ist, aber doch nicht bestimmt von uns als solches anerkannt werden könnte. Die Erscheinung ist viel lebhafter, wenn die Längsrichtung des grauen Streifen quer zur Trennungslinie der Farben steht. Dann kann der Theil des Grau, welcher in das Grün hineinragt, ebenso lebhaft rosenroth erscheinen, wie der rosenrothe Grund der anderen Seite. Schwächer, aber doch deutlich erkennbar ist die Contrastfarbe, wenn die mittlere Längslinie des grauen Streifen gerade auf der Trennungslinie der Farben liegt. Dann erscheinen die Seitenränder des Grau mit einem schmalen nach der Mitte hin verwaschenen Saume der Complementärfarbe gefärbt.

Ähnliche Wirkungen erhält man, wenn man dünne Papierblätter treppenförmig über einander legt, so daß an dem einen Rande der Papierschicht nur ein Blatt hervorsieht, daran ein Streifen stößt, wo sich zwei decken, dann drei u. s. w. Läßt man Licht durch eine solche Lage von Blättern scheinen, so ist natürlich innerhalb jeder Stufe die objective Helligkeit constant, doch erscheint jede Stufe dunkler an dem Rande, wo sie an die nächst hellere anstößt, und heller, wo sie an die nächst dunklere stößt.

Viel schöner und feiner abgestuft lassen sich aber alle diese Erscheinungen auf dem Farbenkreisel hervorbringen. Man gebe den Sektoren des Farbenkreisels die nebenstehende Form der *Fig. 198*, und mache sie



*Fig. 198.*



könnte, so muß der Schein entstehen, daß die Farbe des einen Randes durch die Mitte des Feldes allmählich in die des anderen übergeht. Macht man aber in der Mitte des inducirten Feldes einen schwarzen Strich, oder legt man ein graues Feld, dessen Hälften ungleich hell und durch eine scharfe Grenzlinie getrennt sind, zwischen zwei farbige, so gehen die complementären Färbungen von jeder Seite her bis an diese Grenzlinie vor, und scheiden sich an dieser. Sind die Farbenunterschiede des inducirten und der inducirenden Felder so groß, daß zwischen allen Punkten derselben der Farbenunterschied zweifellos wahrnehmbar ist, so verschwindet die Contrastwirkung, oder wird wenigstens viel zweifelhafter. Findet noch irgend eine andere Abgrenzung des inducirten Feldes statt, so wird der Unterschied seiner Färbung von der des inducirenden viel unsicherer wahrgenommen, und der Contrast schwindet ebenfalls, oder wird schwächer.

Außerordentlich schlagend zeigt sich die Wirkung schwacher Unterschiede bei einem zuerst von H. MEYER<sup>1</sup> angegebenen Verfahren. Man schneide ein Blatt aus feinem weißen Briefpapier und eines aus farbigem Papier, z. B. grünem, beide genau gleich groß, lege beide auf einander, so daß sie sich genau decken, und schiebe ein Schnitzelchen grauen Papiers dazwischen, welches ebenso dunkel oder dunkler als das grüne ist. Weniger gut ist schwarzes oder weißes Papier. Durch das weiße Papier schimmert das Grün und Grau der Unterlage nur ganz schwach durch, und wo das letztere liegt, erscheint jetzt ein sehr deutliches und starkes Rosaroth. Giebt man der Unterlage eine andere Färbung, so erscheint das graue Schnitzelchen immer in der Complementärfarbe durch das aufgelegte weiße scheinend. Es gelingt häufig die Verhältnisse so zu treffen, daß die complementäre Contrastfarbe deutlicher hervortritt als die schwache Farbe des Grundes.

Der Einfluß schwächster Grenzlinien ist bei diesen Versuchen sehr auffällig. Man nehme ein durchscheinendes weißes Papierblatt, und lege es auf ein undurchsichtiges weißes. Oben auf lege man ein Schnitzelchen von hellgrauem Papier, was man durch einen leichten Anflug chinesischer Tusche so weit gefärbt hat, daß es, wenn es auf dem obersten dünnen weißen Papierblatt liegt, oder auch dort angeklebt ist, ebenso dunkel erscheint, als ein dunkleres Schnitzelchen, was unter dem durchscheinenden Papier liegt. Alsdann nehme man das undurchsichtige Weiß fort und lege dafür ein farbiges Blatt ein. Dann sieht man von oben die beiden grauen Schnitzel in nahehin gleicher Helligkeit des objectiven Grau. Der optische Unterschied besteht nur darin, daß das oben liegende durch seine zarten Grenzlinien, die man eben noch erkennt, vom Grunde getrennt ist, während die Grenzlinie des anderen Schnitzel mehr als ein verwaschener Fleck von etwas anderer Farbe als der Grund des deckenden Papiers erscheint. Unter diesen Umständen kommt die complementäre Contrastfarbe auf dem letzteren, bedeckten Schnitzel sehr deutlich zum Vorschein, während sie auf dem oben liegenden

<sup>1</sup> H. MEYER, *Pogg. Ann.* XCV. 170. 1855.



vertheilt zwischen Stellen, die die Complementärfarbe zeigen. So ist es wenigstens jetzt in meinem 70. Lebensjahre. Die von mir in der ersten Auflage gegebene Beschreibung dieser Erscheinung macht mich glauben, daß ich damals die Complementärfarbe deutlicher und sicherer gesehen habe. Ich muß dahingestellt sein lassen, ob meine Augenmedien vielleicht trüber geworden sind, so daß sie mir mehr objectives Licht von der Farbe des Grundes über das kleine weiße Feld ausbreiten, und dadurch der Contrast gestört wird.

Das reagirende Weiß darf im Allgemeinen nicht zu hell genommen werden. 396 Wenn man den Versuch in einem Zimmer anstellt, wo von einer Lampe oder von einer nicht zu großen Fensteröffnung her das Licht einfällt, kann man die Helligkeit des weißen Papiers leicht dadurch verändern, daß man das Licht mehr oder weniger senkrecht auffallen läßt, und so die passende Helligkeit auffinden. Eine mittlere Helligkeit des Weiß, welche ungefähr eben so groß ist, wie die des farbigen Grundes, ist am vortheilhaftesten. Ist das Weiß zu hell, oder andererseits zu stark beschattet, so daß es sich dem Schwarz nähert, so sind die Contrastfarben minder deutlich oder fehlen ganz. Je mehr die farbige Fläche vom Gesichtsfelde einnimmt, desto heller kann das Weiß gemacht werden. Wenn man sich mit dem Auge von den Objecten entfernt, und deren scheinbare Größe also kleiner wird, so wird die inducirte Farbe schwächer oder schwindet ganz. Ebenso schwindet sie bei anhaltendem Fixiren, und verwandelt sich in die der inducirenden Farbe gleiche, auch desto leichter, je kleiner die scheinbare Größe des inducirten Feldes ist, je stärker dieses beleuchtet ist, und je dunkler das inducirte Feld ist. Läßt man das letztere aus einem schwarzen Scheibchen bestehen, und bringt dieses vor eine farbige Glasplatte, welche in einer Oeffnung des Fensterlades befestigt ist, so daß man die lichte Himmelsfläche hindurchsieht, so ist häufig von Anfang an die schwarze Scheibe mit der Farbe des Glases überzogen, vorausgesetzt, daß man Nachbilder vermeidet. Ich finde hierbei keinen Unterschied der verschiedenen Farben als den, daß die käuflichen rothen Gläser dunkler zu sein pflegen als die gelben, grünen und blauen, und daher für das Roth eine größere Lichtstärke, z. B. die von sonnenhellen Wolken nöthig ist, um die gleiche Farbe von Anfang an zu erzeugen. Bei den blauen Gläsern, welche auch bei ziemlich dunkler Färbung die Erscheinung zeigen, könnte wohl auch die Fluorescenz der Linse und Hornhaut dazu beitragen, blaues Licht über die dunkle Scheibe zu verbreiten. Nach kurzem Fixiren tritt immer die gleiche Farbe ein, und nur am Rande des schwarzen Feldes zeigt sich der von Schwankungen der Gesichtslinie herührende complementäre Saum.

Wenn wir zunächst von den Fällen absehen, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleich ist, so können wir das Hauptresultat der beschriebenen Versuche auch so ausdrücken: „Wenn im Gesichtsfelde eine besondere Farbe überwiegend verbreitet ist, so erscheint uns eine weißlichere Abstufung desselben Farbentons als Weiß, und wirkliches Weiß als complementär ge-





von der Kerze beleuchtete Papierfläche einen schmalen schwarzen, ganz unbeleuchteten Gegenstand zu halten, und den Blick über ihn und die Papierfläche wandern zu lassen, so erkennt man bald den indigblauen Schein auf dem Schwarz, welcher dem Rothgelb des Kerzenlichts complementär ist. Weisses Papier bei Kerzenbeleuchtung erscheint ebenso gut weiss, wie bei Tageslicht. Blickt man aber durch eine innen geschwärzte Röhre, welche 398 nur eine kleine Öffnung hat, nach dem Papier, und vergleicht das Aussehen des kleinen Theils der Papierfläche, den man noch sieht, mit dem dunkeln Felde, so erkennt man bald, daß jenes rothgelb ist, letzteres bläulich erscheint, während bei Tageslicht sich kaum ein solcher Unterschied zeigt. Dies ist ein Mittel, um die Farbe der herrschenden Beleuchtung zu erkennen, selbst wenn man kein Tageslicht zur Vergleichung herbeischaffen kann.

Eine genaue Bestimmung des Weiss, bei verbreiteter farbiger Beleuchtung kann aus der Vergleichung mit dem Eigenlichte des Auges natürlich nicht hervorgehen, weil das letztere zu schwach und nicht rein weiss ist.

Wenn wir also eine beschränkte Anzahl farbiger Objecte im Gesichtsfelde haben, so sind wir viel besser im Stande, die relativen Unterschiede der vorhandenen Farben unter einander und von ihrem Mittel zu bestimmen, als den Unterschied dieses Mittel vom Weiss. Nun ist bei der normalen Beleuchtung durch Tageslicht, und wenn wir eine grosse Mannigfaltigkeit von Objecten frei vergleichen können, das Weiss des Sonnenlichts die Mittelfarbe, von der aus wir die Abweichungen der übrigen Farben nach den verschiedenen Richtungen der Farbentafel hin beurtheilen. Ist aber eine andere Farbe *A* herrschend, so daß das Mittel aller gleichzeitig angeschauten Farben sich der Farbe *A* nähert, so sind wir geneigt, dieses Mittel als den Ausgangspunkt unserer zeitweiligen Farbenbestimmungen zu benutzen, und es mit Weiss zu identificiren.

Ein weiterer sehr günstiger Fall für die Erscheinungen des simultanen „Contrastes sind die farbigen Schatten. Diese haben unter allen Contrasterscheinungen zuerst und am meisten die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Die leichteste Art, sie zu beobachten, ist die, daß man ein Blatt Papier 393 von entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig mit abgeschwächtem Tageslicht und mit Kerzenlicht beleuchtet. Das Tageslicht, d. h. weisses Licht, welches vom bewölkten Himmel, oder von einer von der Sonne beschienenen weissen Fläche, oder auch vom Monde kommt, lasse man durch eine nicht zu breite 394 Öffnung einfallen, damit es deutliche Schatten werfen könne. Dann stelle man auf das Papier irgend einen Körper (Finger, Bleistift), welcher Schatten wirft. Man wird zwei Schatten erkennen. Ich nenne Schatten des Tageslichts denjenigen, welcher auch, wenn die Kerze fehlte, da sein würde, und Schatten des Kerzenlichts denjenigen, dessen Dasein von der Anwesenheit der Kerze abhängt. Der Schatten des Tageslichts ist beleuchtet von rothgelbem Kerzenlicht, aber nicht von Tageslicht. Er erscheint in seiner objectiven Färbung, nämlich rothgelb. Der Schatten des Kerzenlichts wird von dem weissen Tageslichte, nicht aber von dem rothgelben Kerzenlichte



den Rändern bei den unvermeidlichen Schwankungen der Gesichtsaxe hin und wieder die Complementärfarbe aufblitzt. So wie man den Blick wandern läßt, kommt die Complementärfarbe immer zu Stande, oder wird glänzender, wenn sie schwach schon vorher da war.

Die Complementärfarbe kommt sogar dann zum Vorschein, wenn man das Licht durch zwei Gläser von derselben Farbe gehen läßt, wovon aber das eine schwächer gefärbt ist als das andere, oder wenn man zwei gleiche Gläser anwendet, aber neben dem einen noch weißes Licht einfallen läßt. In solchen Fällen wird also der Farbenton des weißlicheren Schatten scheinbar in den entgegengesetzten verwandelt.

Ehe wir die Fälle von Contrast verlassen, bei denen die inducirte Farbe <sup>400</sup> den größten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, müssen wir noch den Grund der zuweilen erscheinenden Färbung des reagirenden Feldes, welche der inducirenden gleichnamig ist, erörtern. Es kommt dies unter zwei Bedingungen vor, erstens nämlich wenn das inducirende Feld eine sehr große Lichtstärke hat, zweitens bei langem Fixiren desselben Punktes.

Wenn das inducirende Feld eine sehr große Lichtstärke hat, halte ich das Auftreten der gleichnamigen Färbung im reagirenden Felde nicht für eine subjective Erscheinung, sondern für eine Ausbreitung objectiven Lichts. Jede feste und flüssige durchsichtige Substanz, welche wir kennen, zerstreut kleine Mengen des Lichts, welches durch sie hindurchgeht, nach allen Seiten hin, und erscheint deshalb, wenn starkes Licht durch sie hingeht, selbst schwach erleuchtet. Dafs dies auch mit der Hornhaut und der Krystalllinse des Auges der Fall ist, haben wir schon oben (§ 14, S. 142) erwähnt. Man denke ferner an die entoptischen Objecte des Glaskörpers, welche nothwendig das durchgehende Licht theilweis von seinem Wege ablenken müssen, man denke daran, dafs Licht von den erleuchteten Stellen der Netzhaut nach den übrigen Theilen des Augengrundes hin reflectirt wird, so ergiebt sich, dafs wenn eine größere Menge Licht in das Auge eindringt, immer merkliche Mengen davon über einen größeren oder kleineren Theil des Augengrundes ausgebreitet sein werden. Am deutlichsten zeigt sich diese Beleuchtung durch diffuses Licht bei der zweiten in § 15 beschriebenen Methode, die Gefäße der Retina sichtbar zu machen, indem man eine Kerzenflamme unterhalb des Auges hin und her bewegt. In dem Lichtnebel, welcher hierbei den Grund des Auges ausfüllt, erscheinen die Schatten der Netzhautgefäße; die Beleuchtung ist also jedenfalls eine objective, und nicht bloß eine Ausbreitung der Lichtempfindung in der Netzhaut.

Nun kann man sich bei objectiven Versuchen mit Glaslinsen leicht überzeugen, dafs das diffus zerstreute Licht immer am stärksten in der Nähe des regelmäfsig gebrochenen Lichtbündels ist, und schwächer wird, je weiter man sich von diesem entfernt. Läßt man Sonnenlicht durch die Öffnung eines schwarzen Schirms auf eine entfernte Linse fallen, und fängt das Bild der hellen Öffnung auf einem weißen Schirme auf, so sieht man das helle Bildchen von einem weißen Nebelschein umgeben, der auch sichtbar wird, wenn man

das Bild der hellen Öffnung selbst dicht am Rande des Schirms vorbeigehen läßt. Jener weiße Nebelschein ist also keine im Auge entstehende Irradiation, sondern eine objective Erscheinung. Noch besser sieht man es, wenn man in den Schirm eine kleine Öffnung macht, die man dem Bilde der hellen  
 401 Öffnung nahe bringt, ohne sie aber damit zusammenfallen zu lassen. Blickt man durch die Öffnung des Schirmes nach der Linse, so erscheint diese desto heller erleuchtet, je näher man dem optischen Bilde der Lichtquelle kommt. Ein ganz entsprechendes Phänomen entsteht im Auge. Wenn man eine Lichtflamme vor einem sehr dunkeln Felde sieht, z. B. vor der geöffneten Thür eines ganz dunkeln Raumes, so erscheint die Flamme von einem weißlichen Nebel umgeben, der in ihrer unmittelbaren Nähe am hellsten ist. Man bemerkt diesen Lichtschein am besten, wenn man einen kleinen undurchsichtigen Körper zwischen das Auge und die Flamme bringt, so daß diese nicht mehr gesehen wird. Augenblicklich verschwindet auch der Lichtnebel vor dem Grunde, und man sieht diesen in seiner eigenthümlichen Schwärze. Ist das Licht farbig, so ist natürlich auch der zerstreute Lichtnebel von derselben Farbe. Ich glaube auch in diesem Falle nicht zweifeln zu dürfen, daß dieser Lichtnebel von der Zerstreuung objectiven Lichts herrührt, da die Vertheilung des Lichts ganz dieselbe ist, welche ein System Glaslinsen unter denselben Umständen geben würde. Aber allerdings fehlt hier der Nachweis mittels der Schatten der Netzhautgefäße, der in dem erst erwähnten Falle gegeben werden konnte. Beim blauen Lichte kommt endlich auch noch das durch Fluorescenz der Linse zerstreute weißbläuliche Licht hinzu, welches sich ebenfalls über den ganzen Grund des Auges ausbreitet. Wenn also eine große Menge farbigen Lichts in das Auge fällt, werden immer auch solche Theile der Netzhaut, welche Bilder dunkler Objecte empfangen, von dem herrschenden Lichte schwach beleuchtet werden, und zwar desto stärker, je näher sie den Bildern der hellen Flächen liegen. Außerdem besteht im Bereich des dunkeln Bildes die innere Reizung der Nervenmasse, das weißliche Eigenlicht der Netzhaut. Dieses allein genommen würde im Contrast zur herrschenden Farbe dieser complementär erscheinen. Kommt aber viel der inducirenden Farbe gleichnamiges zerstreutes Licht hinzu, so wird dies von Anfang an den überwiegenden Eindruck machen; daher denn, wie oben bemerkt, schwarze Scheibchen vor farbigen Gläsern bei geringerer Helligkeit complementär, bei größerer gleichfarbig erscheinen.

Der zweite Fall, wo die inducirte Farbe der inducirenden gleichartig ist, bei langer Fixation nämlich, erklärt sich aus dem, was im vorigen Paragraphen über das allmähliche Erlöschen der Bilder durch lange Fixation beigebracht worden ist. Es ist schon dort bemerkt worden, daß wenn eine Stelle der Netzhaut lange Zeit hindurch von demselben Lichteindrucke getroffen wird, die Empfindung der Helligkeit immer schwächer und die Farbe immer weniger gesättigt wird. Indessen bemerken wir diese Veränderung des Eindrucks nur, wenn wir Vergleichen mit dem Eindruck, den dasselbe Licht auf un-

ermüdete Netzhautstellen macht, anstellen. Wir halten also dabei das Urtheil über die Farbe und Helligkeit fest, welches wir uns beim ersten Anblick gebildet haben. In der That würden wir, selbst wenn wir den Wechsel des Eindrucks bei einiger Aufmerksamkeit bemerken, ihn bald als subjective Erscheinung erkennen lernen, da er ja in jedem einzelnen Falle immer und immer wiederkehrt, und würden ihn, wie andere ähnliche subjective Erscheinungen, bald übersehen lernen.

Wenn die fixirte Fläche hellere und dunklere Theile hat, so verlöschen 402 diese Unterschiede bei der Abschwächung des Eindrucks allmählich. Man bezeichne sich auf einer solchen Fläche einen Punkt, der als Fixationspunkt dient; übrigens ist es vortheilhaft, wenn die Grenzen zwischen hellen und dunkeln Theilen verwaschen sind, um bei kleinen Schwankungen des Auges nicht zu stark gezeichnete Nachbilder zu geben. Fixirt man scharf und fest, so verlöschen in 10 bis 20 Secunden oft recht auffallende Lichtunterschiede, und zwar in der Weise, daß anfangs die helleren Theile dunkler werden, und gleichzeitig die dunkleren heller. Auffallend ist dabei auch, daß eine größere dunkle Masse sich häufig in einen verwaschenen dunkeln Fleck verwandelt, oder eine helle Masse in einen verwaschenen hellen Fleck, als wären die Objecte mit dünnflüssigen Farben gemalt, und diese verliefen in einander. Übrigens ist in dieser Weise der Versuch schwer auszuführen, wegen der langen starren Fixation, und sehr anstrengend. Jeder Lidschlag, jede kleine Verrückung des Auges stellt das Bild wieder her. Viel bequemer und vollständiger gelingt er, wenn wir Objecte benutzen, die zur Netzhaut selbst eine feste Lage haben, nämlich die Netzhautgefäße. Ich habe im § 15 die Methoden auseinandergesetzt die Netzhautgefäße sichtbar zu machen. Das Gemeinsame dieser Methoden besteht darin, daß man den Schatten der Gefäße in eine ungewöhnliche Richtung fallen läßt, oder den Kernschatten zu verlängern sucht. Dabei ist aber auch nöthig die Richtung des Schatten werfenden Lichts fortdauernd zu verändern, und man sieht nur diejenigen Gefäße, deren Schatten den Ort wechselt. So wie man die Lichtquelle unverrückt läßt, schwinden die Gefäßstämme im Gesichtsfelde in wenigen Secunden, indem sie so hell werden wie das übrige Gesichtsfeld. Sie schwinden schneller und vollständiger, als es Bilder äußerer Gegenstände thun, bei denen die Schwierigkeit der Fixation besteht; sie schwinden um so schneller, je schwächer die Beleuchtung ist. Am längsten halten sie sich, wenn man durch eine Linse Sonnenlicht auf die äußere Seite der Sclerotika concentrirt, weil hier das Feld am hellsten ist.

Einfache Überlegungen zeigen übrigens leicht, daß das Verschwinden der Netzhautgefäße ganz dieselben Ursachen hat, wie das Verschwinden aller fest fixirten Bilder, und daß hierbei keineswegs irgend eine besondere Eigenthümlichkeit der hinter den Gefäßen liegenden Netzhauttheile im Spiel ist. Es ist nicht zulässig anzunehmen, daß diese Stellen etwa mit einer größeren Erregbarkeit begabt seien, als der Rest der Netzhaut, und deshalb trotz der Beschattung ebenso starke Empfindung hätten, wie die anderen. Denn wenn

wir den Schatten in ungewöhnlicher Richtung entwerfen, indem wir einen Theil der Sclera durch die Pupille oder von aussen beleuchten, und zur Lichtquelle für den Augengrund machen, so verhalten sich die neu beschatteten Theile der Netzhaut genau ebenso, wie die gewöhnlich beschatteten. Auch auf jenen schwindet das Bild schnell, wenn es seinen Platz nicht wechselt, und die gewöhnlich beschatteten Theile geben sich keineswegs durch eine dauernd grössere Helligkeit zu erkennen. Vorübergehend blitzen allerdings helle Streifen neben dem Schatten auf, sobald der Schatten eine Zeit lang still gestanden hat, und dann wieder sich zu bewegen beginnt. Aber das  
 403 geschieht bei seitlicher Beleuchtung ebenso gut, wie bei der Beleuchtung von vorn. Es zeigt sich dabei also wohl, daß die beschatteten Theile der Netzhaut ausruhen, und wenn wieder Licht auf sie fällt, dieses lebhafter empfinden. Aber die Nachwirkung der Ruhe, das negative helle Nachbild des Schattens dauert eben nicht länger als das Nachbild dunkler äusserer Objecte. Ich glaube deshalb nicht zweifeln zu dürfen, daß wir in dem schnellen Verschwinden des Gefäßschattens eben nichts anderes sehen, als in dem Verschwinden jedes starr angeschauten objectiven Bildes mit mässigen Helligkeitsunterschieden, nur daß in jenem Falle die Schwierigkeiten der Fixation wegfallen.

Wenn nun dauernd eine Stelle der Netzhaut *A* stärker beleuchtet wird als eine andere *B*, so wird allerdings, weil *A* mehr ermüdet wird als *B*, der anfängliche Unterschied der Erregung bis zu einem gewissen Grade vermindert werden, und wir sehen ihn dabei allmählich auch für unsere Empfindung ganz und gar verschwinden, sei es nun, daß er wirklich zu klein wird, um wahrgenommen zu werden, oder, was mir wahrscheinlicher dünkt, weil unser Unterscheidungsvermögen für anhaltende Nervenirregungen viel unvollkommener ist, als für wechselnde Erregung. Da wir nun aber in diesen Fällen unsere Beurtheilung der Farbe nach dem ersten Eindruck festhalten, und über die allmähliche Veränderung desselben wegsehen, so scheinen uns bei diesem Versuch die Flächen *A* und *B* einander ähnlicher zu werden, während ihre mittlere Helligkeit ungefähr constant erscheint. Im Allgemeinen wird die hellere *A* dabei dunkler, die dunklere *B* aber heller. Eine silbergraue Tapete zum Beispiel mit dunkler grauen Blättern, an der Kupferstiche hängen, erscheint mir bei längerem Fixiren wie mit Milch übergossen.

Sind im Gesichtsfelde verschiedene Farben, so hat deren Eindruck ebenfalls nur im ersten Augenblicke volle Lebhaftigkeit. Bei anhaltendem Fixiren werden alle Farben immer dunkler und grauer, und daher einander ähnlicher. Daß sie ähnlicher werden, bemerken wir; die Veränderung der herrschenden Farbe aber bemerken wir nicht, oder nur ungenau, so lange uns die Vergleichung mit frischen Eindrücken fehlt, und so halten wir diese meist für unverändert.

Haben wir also ein weisses Feld auf rothem Grunde fixirt, und werden die beiden Farben einander immer ähnlicher, so urtheilen wir, daß das Weiss roth werde. Dazu kommt, daß bei jedem Schwanken des Blicks an der



Grenze beider Felder auf dem Weiss ein grünes Nachbild, auf dem Roth das von gesättigtem Roth aufblitzt, und durch den Contrast die Wirkung verstärkt.

Dass beide Farben sich einander nähern, zeigt sich sehr deutlich, wenn man ein kleines rothes Feld auf breitem weissen Grunde fixirt. Auch dann wird, wie FECHNER bemerkt hat, das Weiss nach einiger Zeit röthlich, und zwar gleichmässig in seiner ganzen Ausdehnung. Ein zweites kleines farbiges Feld, welches weit seitlich liegt, hat keinen Einfluss auf den Gang der Erscheinung. Wählt man aber den Fixationspunkt auf der Grenze zweier kleinen verschiedenfarbigen Felder, die auf weissem Grunde liegen, so überzieht sich nach FECHNER der Grund mit der Mischfarbe beider. Es zeigt sich hierbei also eine besondere Bevorzugung der Farbe, welche der gelbe Fleck empfindet, was wohl seinen Grund darin hat, dass diese am schärfsten und sichersten beurtheilt wird, während die Farbenempfindung auf den Seitentheilen der Netzhaut viel unvollkommener ist.

In den bisher betrachteten Fällen, wo wir voraussetzten, dass die inducirende Farbe den grössten Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, oder wenigstens durch ihre Stärke und Lebhaftigkeit die anderen beherrscht, sind die Contrasterscheinungen ziemlich constant und deutlich, und scheinen weiter von keinen Nebenbedingungen abzuhängen. Anders ist es, wenn das Feld der inducirenden Farbe kleiner ist, so dass daneben an der Grenze des Gesichtsfeldes noch eine hinreichende Anzahl weisser und verschiedener Objecte erscheinen können. Dann sind die Contrasterscheinungen durchaus nicht mehr so constant, und hängen von manchen merkwürdigen Nebenbedingungen ab, die mir für die Theorie dieser Erscheinungen sehr wichtig zu sein scheinen. Ist ausserhalb des inducirenden und inducirten Feldes das Gesichtsfeld dunkel, so stört dies nicht so sehr. Erst wenn das Dunkel einen sehr grossen Theil des Gesichtsfeldes einnimmt, wenn man z. B. durch eine schwarze Röhre sieht, scheint das Eigenlicht der Netzhaut eine weisse Beleuchtung zu vertreten, und die Contrasterscheinungen werden unsicher.

Einfluss der Vorstellung von der körperlichen Lage der gesehenen Objecte. Sehr wirksam zeigt folgendes Verfahren von RAGONA SCINA die Contrastfarben auch bei mässiger Ausdehnung des farbigen Feldes. Es seien  $ab$  und  $ac$  *Fig. 199* zwei weisse Papierflächen, die eine horizontal liegend, die andere senkrecht, und  $ad$  eine farbige Glasplatte, welche gegen die beiden Papierflächen um  $45^\circ$  geneigt ist;  $e$  und  $f$  seien zwei schwarze Flecke. Ein Beobachter, welcher von oben bei  $B$  her auf den Apparat herniedersieht, erblickt die Fläche  $ab$  durch das gefärbte Glas hindurch, und sieht  $ac$  gespiegelt. Das Spiegelbild der Fläche  $ac$  fällt scheinbar mit der Fläche  $ab$  zusammen, und das Spiegelbild des schwarzen Flecks  $f$  liege neben dem Flecke  $e$ , etwa in  $g$ . Nun ist das Licht, welches farbige Gläser hindurchlassen,

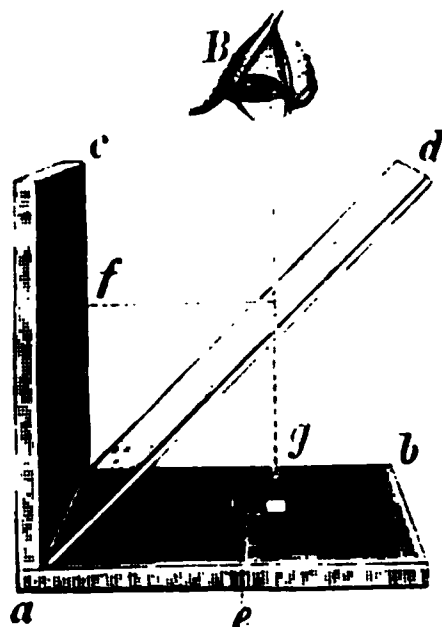


Fig. 199.





grün, das zweite durch Contrast sehr deutlich rosaroth. Noch deutlicher wird die Erscheinung, wenn man die hintere Fläche eines solchen gefärbten Glases mit Spiegelfolie belegt, und die Nachbilder unter so schiefer Incidenz betrachtet, daß beide gleich stark erscheinen.

Ähnlich ist folgender Versuch. Man lege ein farbiges, z. B. grünes, auf ein weißes Papier (besser ein graues von gleicher Helligkeit). Nahe dem Rande, wo das grüne und weiße Feld zusammenstoßen, mache man auf jedes von beiden einen kleinen schwarzen Fleck, und setze ein Rhomboeder von Doppelspath auf diese Stelle. Durch den Krystall sieht man alle Punkte der Unterlage doppelt. In der Mitte erscheint ein grünweißser Streifen, wo sich das ordentliche Bild des Weiße mit dem außerordentlichen des Grün deckt. Man muß die Anordnung so treffen, daß in diesem Streifen je eines der Bilder der beiden schwarzen Flecke erscheint. In dem ordentlichen Bilde des auf dem Weiße befindlichen schwarzen Flecks fehlt Weiße, ist aber Grün vorhanden, der Fleck ist grün. In dem außerordentlichen Bilde des auf dem Grün befindlichen schwarzen Flecks fehlt Grün, ist aber Weiße vorhanden; durch Contrast erscheint er lebhaft rosenroth.

In den zuletzt beschriebenen Versuchen hängt die Contrastwirkung nicht mehr allein ab von einer bestimmten Vertheilung der Farben im Gesichtsfelde. Wir haben gesehen, daß diese bei zwei verschiedenen leichten Abänderungen desselben Versuchs genau gleich sein kann, und doch in dem einen Falle die Contrastwirkung deutlich eintritt, im anderen nicht oder wenigstens unsicher. Sobald das contrastirende Feld als ein selbständiger Körper anerkannt wurde, der über dem farbigen Grunde lag, oder auch nur durch eine hinreichende Bezeichnung seiner Grenzen als ein gesondertes Feld genügend abgetheilt war, fiel der Contrast fort. Da also das Urtheil über die räumliche Lage, über die körperliche Selbständigkeit des betreffenden Objects entscheidend für die Bestimmung der Farbe ist, so folgt, daß die Contrastfarbe hier nicht durch einen Act der Empfindung, sondern durch einen Act des Urtheils oder der Abschätzung entsteht. Die Art dieser Urtheilsacte, durch welche wir zur Wahrnehmung von Objecten mit bestimmten Eigenschaften gelangen, wird in der dritten Abtheilung genauer besprochen werden. Da die bezeichneten Urtheilsacte überwiegend oft unbewusst und unwillkürlich vollzogen werden, so ist es natürlich oft schwer, 407 auszumitteln, auf welcher Verkettung von Eindrücken das endliche Resultat beruht, und es liegt in der Natur der Sache, daß sehr verschiedenartige Umstände von Einfluß sein können. Ich will versuchen hier dergleichen Umstände zu bezeichnen, so weit ich bei der Neuheit des Gegenstandes sie aufzufinden weiß.

Die bisher beschriebenen Versuche haben etwas Gemeinsames, welches den Eintritt der Contrastwirkung sehr zu unterstützen scheint, obgleich auch ohne diesen Umstand Contrast zu Stande kommen kann. In allen diesen Fällen scheint nämlich eine farbige Beleuchtung oder eine farbige durchsichtige Decke über das Feld ausgebreitet zu sein, und die An-



zu eliminiren. Ich habe in § 20 schon erwähnt, daß wir in diesem Sinne deutlich unterscheiden zwischen einem weißen Blatte in schwacher Beleuchtung und einem grauen Blatte in starker Beleuchtung, daher wir eine gewisse Schwierigkeit finden, uns davon zu überzeugen, daß hell beleuchtetes Grau gleich sei schwach beleuchtetem Weiß. Wir müssen künstlich das starke Licht genau auf das graue Feld beschränken, so daß wir aus dem Sinneneindruck nicht entnehmen können, das Grau sei stärker beleuchtet als der Rest des Gesichtsfeldes. Erst dann erkennen wir seine Identität mit Weiß. So wie wir nun gewöhnt und geübt sind, uns ein Urtheil über Körperfarben zu bilden mit Elimination der verschiedenen Helligkeit der Beleuchtung, unter der wir sie sehen, so eliminiren wir auch die Farbe der Beleuchtung. Wir haben hinreichende Gelegenheit dieselben Körperfarben zu untersuchen bei vollem Sonnenschein, bei dem blauen Licht des klaren Himmels, bei dem schwachen weißen Licht des bedeckten Himmels, bei dem rothgelben Licht der sinkenden Sonne, und bei dem rothgelben Licht der Kerzen. Dazu kommen noch die farbigen Reflexe der umgebenden Körper. In einem Laubwalde ist die Beleuchtung überwiegend grün, in Zimmern mit farbigen Wänden den Wänden gleichfarbig. Dieser letzteren Änderungen der Beleuchtung werden wir uns nicht einmal deutlich bewußt, und doch kann man sie mittels der farbigen Schatten oft genug nachweisen. Indem wir die gleichen farbigen Gegenstände unter diesen verschiedenen Beleuchtungen sehen, lernen wir uns trotz der Verschiedenheit der Beleuchtung eine richtige Vorstellung von den Körperfarben zu bilden, d. h. zu beurtheilen, wie ein solcher Körper in weißer Beleuchtung aussehen würde, und weil uns nur die constant bleibende Körperfarbe interessirt, werden wir uns der einzelnen Empfindungen, auf denen unser Urtheil beruht, gar nicht bewußt.

So sind wir denn auch nicht in Verlegenheit, wenn wir einen Körper durch eine farbige Decke hindurch sehen, zu scheiden, was der Farbe der Decke und was dem Körper angehört. Daß wir in den beschriebenen Versuchen dasselbe thun, auch da, wo die Decke über dem Körper gar nicht farbig ist, verursacht, oder befördert wenigstens die Täuschung, in die wir verfallen, und vermöge deren wir dem Körper eine falsche Farbe, die Complementärfarbe des farbigen Theils der Decke zuschreiben.

Während wir aber geübt sind in einer einfarbigen Beleuchtung die Körperfarben richtig zu erkennen, reicht unsere Übung doch nicht zu, dasselbe zu thun, wenn zwei verschiedenfarbige Beleuchtungen von zwei verschiedenen Seiten und von eng begrenzten und scharfe Schatten werfenden Lichtquellen kommen. Denn in den meisten der oben aufgezählten Fälle farbiger Beleuchtung sind die farbigen Flächen sehr breit, und das farbige Licht ist deshalb ziemlich gleichmäßig über alle Seiten der betrachteten Objecte verbreitet. Wir gewöhnen uns deshalb, von allen farbigen Flächen 409 ohne Unterschied, so weit sie im Bereich der farbigen Beleuchtung sind, die Farbe der Beleuchtung abzuziehen, um die Körperfarbe zu finden. Das-



linken röthlich gefärbt. Man sieht dies deutlich, wenn man hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge öffnet, oder wenn man vor beide Augen ein weißes Blatt Papier bringt und ein in der Mitte zwischen Augen und Papier gehaltenes schwarzes verticales Stäbchen fixirt, welches man dann in zwei Bildern, eines dem rechten, das andere dem linken Auge angehörig, auf das Papier projecirt sieht. Auch dann ist das links erscheinende Bild, wo das linke Auge die Papierfläche sieht, aber nicht das rechte, roth, das andere grün. Fixirt man dagegen eine schwarze Tafel und hält in einiger Entfernung davor ein weißes Object, welches im Doppelbilde erscheint, so ist das rechte Bild roth, welches jetzt das vom linken Auge gesehene ist, das linke grün. Dem seitlich beleuchteten Auge also erscheint Weiß grünlicher als dem nicht beleuchteten Auge. Nun dringt unter diesen Umständen Licht durch die Sclera und die Augenlider in das beleuchtete Auge, und dieses Licht ist roth, wie wir aus früheren Versuchen<sup>1</sup> schon wissen. Läßt man Sonnenlicht seitlich auf das Auge scheinen, so erkennt man auch die rothe Farbe auf dunklen Objecten. Betrachtet man z. B. eine Druckschrift, so erscheinen die schwarzen Buchstaben schön roth, das weiße Papier grün. Dieses rothe seitlich eingedrungene Licht zerstreut sich über den größten Theil des Augengrundes, und die Netzhautstellen des beleuchteten Auges, welche das Bild eines weißen Objects aufnehmen, werden also gleichzeitig von weißem und rothem Lichte beleuchtet, empfinden aber grünlich weiß. Die grünliche Färbung wird bei längerer Fortsetzung des Versuchs immer deutlicher, weil sie von der Ermüdung des Auges für Roth abhängt. Aber sie kann bei der überwiegend rothen Beleuchtung der Netzhaut nur dadurch zu Stande kommen, daß die schon vorher bestehende und ausgebreitete Erleuchtung des Grundes getrennt wird von dem hinzukommenden Lichte der Objecte, und das letztere grünlich erscheint, weil das Auge für roth ermüdet ist. Im Gegensatz hierzu erscheint nun im unveränderten Auge das reine Weiß röthlich.

Man betrachte ferner die Spiegelbilder der Tapeten und der Decke eines Zimmers in der gut polirten Oberfläche einer Mahagony-Tischplatte. Accommodirt man das Auge für die gespiegelten Gegenstände, so erscheinen diese entweder in natürlicher Farbe, oder auch oft etwas bläulich, complementär zur Farbe der Platte. Accommodirt man das Auge dagegen für die Platte, so sieht man, daß die Summe des Lichtes, was von ihr herkommt, ganz überwiegend rothgelb ist. Die complementäre Färbung der Spiegelbilder tritt hier, wie ich finde, namentlich dann ein, wenn das gespiegelte Licht der Objecte verhältnißmäßig schwach gegen die Beleuchtung der Platte ist. Wenn dagegen bei sehr schrägem Einfall die Stärke des gespiegelten Lichts sehr zunimmt, die Holzmaserung dagegen verschwindet, so erscheinen die Spiegelbilder oft im Gegentheil röthlich, indem man dann die Trennung zu vollziehen keine Veranlassung mehr hat. Bei diesen zuletzt

<sup>1</sup> S. oben S. 192.



weniger lebhaft sehen werden, als ungetübte. Meine Versuche wurden mir von Personen, die in optischen Beobachtungen erfahren waren, leicht bestätigt. Dagegen sind in manchen Büchern die Contrasterscheinungen so beschrieben, daß ich annehmen muß, sie seien manchen Beobachtern viel leichter sichtbar und viel häufiger als mir.

Während nun die Contrasterscheinungen bei begrenztem inducirendem Felde durch die Abhängigkeit der Färbung von anderen nur durch Beurtheilung festgestellten Umständen keinen Zweifel über ihre Deutung lassen, sind die Contraste bei unbegrenztem inducirendem Felde viel constanter, und würden deshalb eher die Deutung zulassen, daß sie durch Veränderungen der Empfindung selbst hervorgerufen seien. Indessen sind offenbar bei diesen letzteren die Bedingungen noch viel ungünstiger als bei den ersten, um die empfundene Farbe des inducirten Feldes sicher bestimmen zu können, weil eben die Vergleichung der Farbe dieses Feldes mit anderem Weiß ganz fehlt, oder wenigstens viel beschränkter ist. Außerdem zeigen die Contraste auf unbegrenztem inducirendem Felde, wenn sie auch constanter auftreten, doch in ihren Intensitätsverhältnissen eine vollständige Analogie mit denen des begrenzten Feldes. Es wird in allen diesen Fällen die Contrastfarbe in voller Intensität schon durch eine sehr kleine Intensität der inducirenden Farbe hervorgerufen, und durch Steigerung der letzteren nicht oder wenig verstärkt. Dagegen kann sie eine deutliche Verstärkung erleiden, sobald wirklich die Empfindung durch Nachbilder verändert wird. Sie wird endlich durch das Urtheil in voller Intensität festgehalten, sobald man alle anderen Farben aus dem Gesichtsfelde entfernt. Ich zweifle deshalb nicht, daß auch bei großem inducirendem Felde die Deutung der Erscheinungen die nämliche sein müsse, wie bei kleinem, daß auch hier die Contrastfarbe nur durch eine falsche Schätzung gesetzt sei, wenn ich auch in diesen 416 Fällen noch keinen so genügenden Beweis für diese Deutung liefern kann.

Die Contrasterscheinungen sind dem LEONARDO DA VINCI grosstheils schon bekannt gewesen. Er sagt, daß unter allen Farben von gleicher Vollkommenheit jene die schönsten sind, welche neben den entgegengesetzten stehen, also Weiß neben Schwarz, Blau neben Gelb, Roth neben Grün.<sup>1</sup> Später waren es namentlich die farbigen Schatten, welche von allen anderen Contrasterscheinungen die Aufmerksamkeit in Anspruch nahmen. OTTO V. GUERICKE<sup>2</sup> kannte sie, und suchte sie zu benutzen, um den Aristotelischen Satz, daß Weiß und Schwarz gemischt Blau geben könnten, zu beweisen. Aber erst BUFFON<sup>3</sup> lenkte die allgemeinere Aufmerksamkeit auf sie; er beobachtete sie indessen nur immer zufällig bei Sonnenaufgang oder Untergang, wo sie bald blau, bald grün waren. Abbé MAZEAS<sup>4</sup> erzeugte sie durch das Licht des Mondes und einer Kerze. Auch er glaubte die Farben aus einer Verminderung des Lichtes erklären zu können. Dagegen suchten MELVILLE<sup>5</sup> und BOUGUER<sup>6</sup> die Erscheinungen aus NEWTON'S Farbentheorie zu erklären. Man hielt die Farben für objectiv, weil in der That die blauen Schatten, wenn sie von dem Lichte des blauen Himmels erleuchtet werden, objectiv blau gefärbt sind. Daß wirklich das blaue Licht des Himmels in vielen Fällen Grund der blauen Schatten ist, zeigte namentlich BEGUELIN.<sup>7</sup> RUMFORD<sup>8</sup> scheint zuerst die subjective Natur der Farbe

<sup>1</sup> LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura*. 1651. Cap. CC. — Farbige Schatten in Cap. CLVI. und CCCXXVIII.

<sup>2</sup> GUERICKE, *Exper. Magdeb.* p. 142. 1672.

<sup>3</sup> BUFFON, *Mém. de l'Acad. de Paris*. 1748. p. 217.

<sup>4</sup> MAZEAS, *Abh. der Akad. zu Berlin*. 1752.

<sup>5</sup> MELVILLE, *Edinb. Essays*. Vol. II. p. 75. 1760.

<sup>6</sup> BOUGUER, *Traité d'Optique*. p. 368. 1760.

<sup>7</sup> BEGUELIN, *Mém. de l'Acad. de Berlin*. 1767. p. 27.

<sup>8</sup> RUMFORD, *Philos. Transact.* LXXXIV. 107; *Gren's neues Journal der Physik*. II. 58.













Richtung der Polarisationsebene zu erkennen. Von den verschiedenen Farben homogenen Lichts zeigt aber, wie STOKES gefunden hat, nur das Blau die Polarisationsbüschel. In den weniger brechbaren Theilen des Spectrum kommen sie nicht zur Erscheinung. In einem blauen Felde erscheinen die bläulichen Hyperbelflächen hell, der gelbe Büschel dazwischen dagegen dunkel, so z. B., wenn man durch ein stark gefärbtes blaues Glas und den Polarisator nach einer weißen Fläche blickt. Ich selbst sehe die Büschel nicht bloß nicht in homogenem Grün, Gelb, Roth, sondern auch nicht einmal in den gemischten, aber ziemlich gesättigten Abstufungen dieser Farbtöne, welche gefärbte Gläser geben. Es folgt daraus, daß auch im weißen Licht die Erscheinung von den Veränderungen des Blau herrührt. Am Orte der gelben Büschel fehlt das Blau, und diese erscheinen eben deshalb gelb und dunkler.

Wenn Licht durch Refraction, Reflexion oder Doppelbrechung polarisirt wird, werden stets sämtliche Farben nahehin gleichmäfsig von der Polarisation betroffen. Nur bei der Absorption farbigen Lichts in doppeltbrechenden Körpern kann es vorkommen, daß das Licht gewisser Farben polarisirt wird, das Licht anderer Farben dagegen nicht. Das bekannteste Beispiel solcher Absorption ist der Turmalin, welcher so häufig als Mittel, Licht zu polarisiren, gebraucht wird. Es ist diese Eigenschaft übrigens unter den doppeltbrechenden gefärbten Körpern sehr verbreitet, man kann sie durch Färbung derselben künstlich erzeugen, und sie beruht darauf, daß bald wie im Turmalin der ordentliche, bald wie im Rutil und Zinnstein der außerordentliche Strahl stärker absorbirt wird. Nun sind aber die meisten organischen Fasern und Membranen schwach doppeltbrechend, und zwar verhalten sich beide meist wie einaxige Krystalle, deren Axe in den Fasern parallel ihrer Länge, in den Membranen senkrecht zu ihrer Fläche steht. Die Erscheinung der Polarisationsbüschel ist nun zu erklären, wenn man annimmt, daß die gelbgefärbten Elemente des gelben Flecks schwach doppeltbrechend sind, und daß der außerordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbirt werde, als der ordentliche Strahl.

Geht blaues Licht von beliebiger Polarisation durch eine Fasermasse von dieser Eigenschaft in Richtung der Fasern, so wird es stark absorbirt; geht es dagegen senkrecht gegen die Richtung der Fasern hindurch, so wird es stark absorbirt werden, wenn es parallel den Fasern polarisirt ist, schwach dagegen, wenn seine Polarisationsrichtung ebenfalls senkrecht zur Richtung der Fasern ist. Nun verlaufen im gelben Fleck die sogenannten radiären Fasern von H. MÜLLER, welche an anderen Stellen der Netzhaut senkrecht gegen deren Fläche stehen, schräg, indem ihr hinteres Ende sich der Netzhautgrube nähert.<sup>1</sup> In der Centralgrube fehlen die Körnerschichten und die Zwischenkörnerschicht entweder ganz, oder sind wenigstens sehr dünn, da-

<sup>1</sup> BERGMANN in *Hentle und Preuffer Zeitsch. für nat. Med.* (2) V. 245; (3) II. 83. — MAX SCHULTZE, *Observations de l'oeil structure penitiori*. Bonn. 1859. p. 15.



fortlaufen. PURKINJE bemerkt, daß, wenn man nach einer begrenzten lichten Fläche, z. B. gegen ein Fenster, schaut, jeder Punkt auf der von der Mitte des Sehfeldes abgekehrten Seite ein kleines Schattenbild nach sich zieht. Da sie feste Wege einzuhalten scheinen, sind sie von manchen Beobachtern (J. MÜLLER) für eine Erscheinung des Blutlaufs gehalten worden. Sie sind aber, wenigstens in meinem Auge, viel zu vereinzelt, als daß man sie für Blutkörperchen halten könnte, ihre Bahnen ebenfalls viel zu weit von einander entfernt, und ihre Bewegung zu schnell, als daß ihre Wege einem Capillarnetz entsprechen könnten. Wenn ihre Erscheinung wirklich mit dem Blutlauf zusammenhängt, könnte man höchstens daran denken, daß einzelne vielleicht fettreiche Lymphkörperchen, die durch größere Gefäßstämmchen hinfließen, sich in dieser Art zeigen. Diese Erscheinung scheint übrigens von den meisten Menschen leicht gesehen zu werden.

Die Blutkörperchen sind übrigens eben noch groß genug, um, wenn sie sich in der Netzhaut befinden und auf diese einen Eindruck machen, noch erkannt zu werden. Ihr Durchmesser beträgt im Mittel 0,0072 mm, und die Größe der kleinsten erkennbaren Distanzen ist 0,005 mm (siehe S. 256). Verschiedene Beobachter haben denn auch Reihen von fortlaufenden Kügelchen <sup>425</sup> und unbestimmtere wallende und fließende Bewegungen bei verschiedenen Veranlassungen gesehen. Die eigenthümliche Erscheinung in einander verschlungener Strömungen, welche bei intermittirendem Lichte eintritt und von VIERORDT auf den Blutlauf der Aderhaut bezogen wird, ist schon oben erwähnt. Ähnliches sieht man übrigens auch zuweilen ohne intermittirendes Licht, wenn man in eine helle Fläche hineinstarrt, besonders nachdem man durch Bücken das Blut nach dem Kopf getrieben hat. Sobald durch den Lichteindruck die Netzhaut so weit ermüdet ist, daß die Fläche dunkel wird, erscheint gleichsam hinter der hellen Fläche, welche verschwindet, eine gefleckte röthliche Fläche, deren Flecken bald bewegt, bald ruhig sind. Reihen von fließenden Kügelchen haben STEINBUCH und PURKINJE,<sup>1</sup> namentlich bei schwachem Drucke auf das Auge, gesehen. Letzterer sah sie zuerst bei Beobachtung der dunklen Accommodationsfigur, welche bei ihm aus einem centralen weißen Kreise, umgeben von einem bräunlichen, unbestimmt begrenzten Hofe, bestand. Rechts und links neben dem weißen Kreise sah er zwei senkrechte lichte Linien, in denen sich Reihen von Kügelchen bewegten, rechts abwärts, links aufwärts. Ich habe bis jetzt nichts Ähnliches sehen können. JOHANNES MÜLLER<sup>2</sup> sah bei Congestionen nach dem Kopfe, oder wenn er sich gebückt hatte und sich plötzlich aufrichtete, ein Springen und Fahren, wie von dunklen geschwänzten Körpern in den mannigfaltigsten Richtungen, und vergleicht diese Erscheinung mit dem Ameisenlaufen in den Gefühlsnerven.

Ein Flimmern wie von kleinen bewegten Körpern sehe ich auch zuweilen

<sup>1</sup> PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche*. I. 127.

<sup>2</sup> JOHANNES MÜLLER, *Physiologie*. II. 390.





er, während die Lichtpunkte hervorspringen, das Auge gegen eine stark verdunkelte Stelle, oder schloß er es, so setzte sich die Erscheinung auf gleiche Weise fort, nur in einem gemilderten Lichte, als würden durch das erste Hinsehen die Punkte nur entzündet und glimmten dann für sich allein ab. Ich selbst habe ebenfalls häufig solche vereinzelte lichte Punkte, die nicht Nachbilder sein konnten, weil entsprechende kleine helle Gegenstände im Gesichtsfelde fehlten, die dunkle Nachbilder hätten zurücklassen können, zufällig gesehen, aber meist nur einen auf ein Mal, und im Ganzen selten sich wiederholend.

Hierher gehört ferner PURKINJE'S Kreuzspinnengewebefigur,<sup>1</sup> aus lichten röthlichen Linien auf rothem Grunde gebildet, die das Gewebe einer Kreuzspinne bald einfacher, bald complicirter nachbildete. Um die Figur gut zu sehen, hatte sich PURKINJE so gelagert, daß die Strahlen der aufgehenden Sonne seine Augenlider treffen mußten. Beim Erwachen sah er hinter den geschlossenen Lidern die Figur.

Überhaupt ist das Werk von PURKINJE außerordentlich reich an subjectiven Beobachtungen ähnlicher Art und wird noch lange eine Hauptfundgrube für ähnliche Beobachtungen bleiben. Aber viele von den Erscheinungen, die er beschreibt, sind von anderen Augen noch nicht wieder aufgefunden worden, und für diese bleibt es also vorläufig fraglich, ob sie nicht auf individuellen Eigenthümlichkeiten seiner Organe beruhten.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> PURKINJE, *Beobachtungen und Versuche* II. 87.

<sup>2</sup> Siehe noch die Erscheinungen in No. XXII des ersten, in No. IV, V, XV des zweiten Bandes seiner *Beobachtungen und Versuche*.







das Reelle, zur Zeit Bestehende, herauszulösen haben aus seinen verschiedenen Erscheinungsweisen. Das wichtigste Mittel, diese Aufgabe zu lösen, ist uns gegeben in der Willkürlichkeit unserer Bewegungen, mittels deren wir in jedem uns beliebigen Augenblick bei der Rückkehr in die frühere Beobachtungsweise constatiren können, ob der frühere Eindruck vollständig wiederkehrt, oder ob er geändert ist. Wenn diese Rückkehr in jedem uns beliebigen Augenblick unverändert stattfindet, schliessen wir auf dauerndes Bestehen eines unveränderten Objects und betrachten die inzwischen durch bestimmte Willensimpulse eingetretenen Veränderungen als Änderungen der Erscheinungsweise, deren Abhängigkeit von den wechselnden Innervationen wir dabei kennen zu lernen Gelegenheit haben.

Alle die hier besprochenen Regelmäßigkeiten in der Zeitfolge von verschiedenen Vorgängen unseres Bewusstseins können bei hinreichend häufiger und ausnahmsloser Wiederholung gleichartiger Beobachtungen der Verallgemeinerung durch Induction unterliegen und so die Bedeutung allgemeiner Sätze erlangen, die als Grundlage weiterer Schlüsse benutzt werden können.

Um aber zur Überzeugung von der Allgemeingültigkeit solcher inductiv gefundener Sätze gelangen zu können, wird verlangt werden müssen, daß auch die Wahrnehmungen der betreffenden Vorgänge fein und mannigfaltig genug seien, um an ihnen alle diejenigen Unterschiede des objectiven Bestandes sicher erkennen zu können, welche ihren Einfluß durch Abänderung der Folgezustände geltend zu machen im Stande sind. Wo die Feinheit der Perception dazu nicht ausreicht, würden wir natürlich nicht begreifen können, warum in zwei Fällen, die uns anscheinend vollkommen gleich erscheinen, sich ganz verschiedene Folgen entwickeln. An solchen Fällen würde unser Bestreben, sie auf ein Gesetz zurückzuführen oder sie zu begreifen, scheitern müssen.

Nun sind in der That die beiden Grenzen, an denen die Wahrnehmungen des inneren Sinnes sich an Erregungen des Nervensystems anschließen, durch Feinheit, Sicherheit und Reichthum ihres Empfindungsumfanges ausgezeichnet. An der einen Seite haben wir die ungeheuere Mannigfaltigkeit der Empfindungen, die nicht nur in den fünf verschiedenen Sinnen einen fast unübersehbaren Reichthum von Qualitätsunterschieden entwickeln, sondern daneben auch noch die ebenso unabsehbaren Mannigfaltigkeiten der räumlichen Vertheilung der Farben und Helligkeiten im Gesichtsfelde und der Accordverbindungen musikalischer Töne. Indem diese Eindrücke in das Bewußtsein aufgenommen, d. h. percipirt werden, bleibt ihre ganze Mannigfaltigkeit unvermindert bestehen, jedes Bild im Sehfelde bleibt unterscheidbar von jedem anderen. Jede Stelle darin kann unabhängig von jeder anderen Ziel der Aufmerksamkeit werden und mit ihrem früheren Aussehen verglichen werden. Demgemäß ist auch das Bestreben der physiologischen Optik, die Gesetze zu finden, nach denen die Gesichtswahrnehmungen von den Nerven-erregungen abhängen, ein verhältnißmäßig sehr erfolgreiches und fruchtbares gewesen.



oder der vorgestellten Absicht beharren lassen, auch die entsprechenden Folgen in der Außenwelt ausbleiben.

Wir haben nun noch zu reden von der Art, wie unsere Vorstellungen und 447 Wahrnehmungen durch inductive Schlüsse gebildet werden. Das Wesen unserer Schlüsse finde ich am besten auseinandergesetzt in der Logik von STUART MILL. Sobald der Vordersatz des Schlusses nicht ein Gebot ist, welches durch fremde Autorität für unser Handeln oder Glauben aufgestellt ist, sondern ein Satz, der sich auf die Wirklichkeit bezieht und also nur das Resultat der Erfahrung sein kann, so lehrt uns der Schluß in der That nichts Neues, was wir nicht schon gewußt haben, ehe wir ihn machten. Also z. B.

Major: Alle Menschen sind sterblich.

Minor: Cajus ist ein Mensch.

Conclusio: Cajus ist sterblich.

Den Major, daß alle Menschen sterblich sind, welches ein Erfahrungssatz ist, dürfen wir eigentlich nicht aufstellen, ehe wir nicht wissen, ob die Conclusio richtig ist, daß auch Cajus, der ein Mensch ist, gestorben sei oder sterben werde. Wir müssen also des Schlußsatzes sicher sein, ehe wir noch den Major, durch welchen wir ihn beweisen wollen, aufstellen können. Das scheint freilich ein Herumgehen im Cirkel zu sein. Das wahre Verhältniß ist offenbar das: Wir und andere Menschen haben bisher ausnahmslos beobachtet, daß kein Mensch über ein gewisses Alter hinaus gelebt hat. Die Beobachtenden haben diese Erfahrungen, daß Lucius, Flavius und wie die einzelnen Menschen sonst hießen, von denen sie es wissen, gestorben sind, in den allgemeinen Satz zusammengefaßt, daß alle Menschen sterben, und haben sich berechtigt gefühlt, weil dieses Ende in allen den Fällen regelmäßig eintrat, welche beobachtet worden sind, diesen allgemeinen Satz auch für gültig zu erklären für alle diejenigen Fälle, welche noch später zur Beobachtung kommen würden, und so bewahren wir uns den Schatz von Erfahrungen, den wir oder andere Beobachter in diesem Punkte bisher gemacht haben, in Form des allgemeinen Satzes im Gedächtnisse auf, der den Major des obigen Schlusses bildet.

Es ist aber klar, daß wir zu der Überzeugung, Cajus werde sterben, auch 448 unmittelbar, ohne in unserem Bewußtsein den allgemeinen Satz zu bilden, hätten kommen können, indem wir seinen Fall mit allen uns bekannten früheren verglichen hätten, und das ist sogar die gewöhnlichere und ursprünglichere Art, durch Induction zu schließen. Daß dergleichen Schlüsse ohne bewusste Reflexion entstehen, indem in unserem Gedächtnisse das Gleichartige der früher beobachteten Fälle sich an einander fügt und sich gegenseitig verstärkt, zeigt sich namentlich in denjenigen Fällen von inductivem Schließen, wo es uns nicht gelingt, eine ausnahmslos geltende Regel mit genau bestimmten Grenzen ihrer Gültigkeit aus den bisherigen Erfahrungen zu abstrahiren, wie das der Fall ist bei allen verwickelten Vorgängen. So können wir z. B. aus der Analogie früherer ähnlicher Fälle zuweilen mit ziemlicher Sicherheit voraussagen, was einer unserer Bekannten thun wird, wenn er unter gewissen Umständen sich zum Handeln entscheiden wird, weil wir seinen Charakter kennen, z. B. als ehrgeizig oder als feig, ohne daß wir doch genau anzugeben wissen, wonach wir den Grad des Ehrgeizes oder der Feigheit zu messen haben, und warum der vorhandene Grad von Ehrgeiz oder Feigheit ausreichen wird, das Handeln des Menschen so zu bestimmen, wie es unserer Erwartung nach ausfallen soll.

Bei den eigentlich sogenannten und mit Bewußtsein vollzogenen Schlüssen,









**Ton.** Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindrucks so groß, daß die Physiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen, wie Licht und strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, nachdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die Gleichartigkeit ihres physikalischen Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art des einwirkenden Objects die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mitbestimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in dieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht und Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer Schwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, im Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur größeren Übersichtlichkeit erlauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichts mit den Namen der durch entsprechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so ergibt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, das Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegenden Schwingungen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewiesen werden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grundempfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch Addition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in der Empfindung, ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine ungeheure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem anderen Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim Auge gerade das Analoge der Fall ist. Denn gleich aussehendes Weiß kann hervorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrums, durch Gelb und Ultramarinblau, Grüngelb und Violett, Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, drei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die gleichen, so wären gleichtönend Zusammenklänge, wie: *C* und *F*, *D* und *G*, *E* und *A*, oder *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective Bedeutung der Farbe bemerkenswerth ist, es hat noch keine einzige physikalische Beziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmäfsig gleichwertig wäre, als allein die Wirkung auf das Auge. Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung von Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, daß zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen wirken und demgemäfs bald starke, bald schwache Schwingungen der mit-schwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammenwirken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammenwirken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv muß erstens fähig sein, von beiden Wellenzügen afficirt zu werden, und zweitens muß er dem Wechsel von starker und schwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der Gehörnerv dem Sehnerv erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so daß nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit von einander entfernte nicht, oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied der schwirrenden und nicht schwirrenden Intervalle, d. h.



zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendente Form der inneren, den Raum als die entsprechende der äusseren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet KANT für ebensowenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich“ angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, daß Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Daß wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Daß wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, daß deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen zusammenziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Daß wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer großen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts und auswärts zu schießen u. s. w. Die Schwierigkeit in allen diesen Fällen ist nur die, die Innervationen zu finden, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Wir fühlen also, daß und wann wir Impulse geben, wir unterscheiden gleiche und ungleiche Impulse und lernen aus Erfahrung die wahrnehmbare Wirkung kennen, welche die einzelnen verschiedenen hervorbringen, aber ohne von den vermittelnden Zwischengliedern etwas zu wissen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin und hergehen), so finden wir, daß dadurch die gewissen Qualitätenkreise angehörigen Empfindungen (nämlich die auf räumliche Objecte bezüglichen) geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewußt sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn



wirkung eintreten sehen, so schreiben wir den Objecten eine dauernde und stets zur Wirksamkeit bereite Fähigkeit zu solchen Wirkungen zu. Diese dauernde Fähigkeit nennen wir Eigenschaft.

Daraus geht nun hervor, daß in Wahrheit die Eigenschaften der Naturobjecte trotz dieses Namens gar nichts dem einzelnen Objecte an und für sich Eigenes bezeichnen, sondern immer eine Beziehung zu einem zweiten Objecte (einschließlich unserer Sinnesorgane) bezeichnen. Die Art der Wirkung muß natürlich immer von den Eigenthümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. Darüber sind wir auch keinen Augenblick in Zweifel, wenn wir von solchen Eigenschaften der Körper reden, welche sich zeigen, wenn der eine auf einen anderen, ebenfalls der Außenwelt angehörigen Körper wirkt, z. B. bei den chemischen Reactionen. Bei den Eigenschaften dagegen, welche auf Wechselbeziehungen der Dinge zu unseren Sinnesorganen beruhen, sind die Menschen von jeher geneigt gewesen, es zu vergessen, daß wir es auch hier mit der Reaction gegen ein besonderes Reagens, nämlich unserem Nervenapparat zu thun haben, und daß auch Farbe, Geruch und Geschmack, Gefühl der Wärme und Kälte Wirkungen sind, die ganz wesentlich von der Art des Organs, auf welches gewirkt wird, abhängen. Allerdings sind die Reactionen der Naturobjecte auf unsere Sinne die am häufigsten und am allgemeinsten wahrgenommenen, sie haben für unser Wohlsein und für unsere Behaglichkeit die überwiegendste Wichtigkeit; das Reagens, an welchem wir sie zu erproben haben, ist uns von Natur mitgegeben, aber dadurch wird das Verhältniß nicht anders.

Die Frage zu stellen, ob der Zinnober wirklich roth sei, wie wir ihn sehen, 445 oder ob dies nur eine sinnliche Täuschung sei, ist deshalb sinnlos. Die Empfindung von Roth ist die normale Reaction normal gebildeter Augen für das von Zinnober reflectirte Licht. Ein Rothblinder wird den Zinnober schwarz oder dunkelgraugelb sehen; auch dies ist die richtige Reaction für sein besonders geartetes Auge. Er muß nur wissen, daß sein Auge eben anders geartet ist, als das anderer Menschen. An sich ist die eine Empfindung nicht richtiger und nicht falscher als die andere, wenn auch die Rothsehenden eine große Majorität für sich haben. Überhaupt existirt die rothe Farbe des Zinnobers nur, insofern es Augen giebt, die denen der Majorität der Menschen ähnlich beschaffen sind. Genau mit demselben Rechte ist es eine Eigenschaft des Zinnobers, schwarz zu sein, nämlich für die Rothblinden. Überhaupt ist das vom Zinnober zurückgeworfene Licht an sich durchaus nicht roth zu nennen, es ist nur für bestimmte Arten von Augen roth. Wenn wir von Eigenschaften der Körper sprechen, die sie in Bezug auf andere Körper der Außenwelt haben, vergessen wir nicht in der Sprache auch den Körper zu bezeichnen, in Bezug auf welchen die Eigenschaft vorhanden ist. Wir sagen: „Blei ist löslich in Salpetersäure, es ist nicht löslich in Schwefelsäure“. Wenn wir bloß sagen wollten: „Blei ist löslich“, so würden wir sogleich bemerken, daß dies eine unvollständige Behauptung ist, und würden sogleich fragen müssen, worin es löslich sei. Wenn wir aber sagen, „Zinnober ist roth“, so versteht es sich implicite von selbst, daß er für unsere Augen roth ist, und für die Augen anderer Menschen, welche wir als gleich beschaffen voraussetzen. Wir glauben, das nicht erwähnen zu brauchen, und deshalb vergessen wir es auch wohl und können verleitet werden, zu glauben, die Röthe sei eine dem Zinnober oder dem von ihm reflectirten Lichte, ganz unabhängig von unseren Sinnesorganen zukommende Eigenschaft. Etwas anderes ist es, wenn wir behaupten, daß die Wellenlängen des









die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmäßigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmäßige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dafs es eine *Contradictio in adjecto* sei, das Réelle oder KANTS „Ding an sich“ in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntnifs der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinnesindrücke.

Dafs unser Denken und Wahrnehmen in Bezug auf Erkenntnifs des Wirklichen mehr als dieses Ziel erreiche, muß ich verneinen. Aber, wie ich schon bemerkt habe, schliesse ich auch die Vorgänge, von denen uns unsere innere Anschauung berichtet, unter den Begriff der wirklichen Vorgänge ein.

Die besondere Art der ursächlichen Verbindung freilich, die wir zur Erklärung der einzelnen aufgefundenen Fälle von Gesetzmäßigkeit in der Zeitfolge der Wahrnehmungen anzunehmen haben, wird immer nur in hypothetischer Weise gefunden werden können.

Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzlichkeit aufzuteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, muß durch Beobachtung und Versuch geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschließendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschluss stützt sich auf das Vertrauen, dafs ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmäßigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmäßigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmäßigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dafs das Begreifen zu vollenden sein wird, dafs wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es



werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weiß zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmäßig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreißen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte es für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde in dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber consequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge zu behalten.

Auch FICHTE nimmt an, daß sich das Ich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Welt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwicklung seiner Denkhätigkeit bedarf. Sein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, daß er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die Aussage des Sittengesetzes hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen faßt. Da aber ihre Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen müssen, so faßt er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des absoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, welche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität annehmen, wie es bei HEGEL geschah.

Die realistische Hypothese dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen Selbstbeobachtung, wonach die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was sich in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt außer uns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden können, geprüft und bestätigt in außerordentlich weiten Kreisen der Anwendung, scharf definirt in allen Einzelbestimmungen und deshalb außerordentlich brauchbar und fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfindungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders auszusprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewusstseinsacte verlaufen so, als ob die von der realistischen Hypothese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände“. Aber über dieses „als ob“ kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und zuverlässige Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um nicht mehr aus den That- sachen folgern zu wollen, als in der That daraus zu folgern ist. Die verschiedenen Abstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische Hypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene wissenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, so bald man sie als Dogmen oder als angebliche Denknöthwendigkeiten hinstellen will. Die Wissenschaft muß alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Übersicht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind die Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zuwarten kann, bis eine gesicherte



Verständniß eines Systems von Zeichen zu gewinnen ist, welches dem individuellen Beobachter gegenüber nur wie ein ganz willkürlich gewähltes wirken kann, wenn auch der vergleichende Philolog Spuren des Zusammenhanges einzelner Wurzeln darin zu erkennen weiß. Die Muttersprache wird nur an dem Gebrauch der Worte gelernt. Das Kind hört immer wieder den normalen Namen eines Gegenstandes aussprechen, wenn ihm dieser gezeigt oder gereicht wird, und hört immer wieder die gleiche Veränderung der ihm sichtbaren Außenwelt mit dem gleichen Wort bezeichnen. Dadurch heftet sich in seinem Gedächtniß das Wort an die Sache, desto öfter und desto fester, je häufiger beide sich wiederholen. Die Wiederholung braucht aber nicht genau in allen Einzelheiten gleich zu sein, sondern der gleiche Namen kann sich auch an eine Klasse unter einander ähnlicher Gegenstände heften oder an eine Klasse ähnlicher Vorgänge. Dadurch entwickeln sich dann Namen für den Begriff einer Klasse von Anschauungsbildern, wobei der Umfang, in welchem der Name für verschiedene Modificationen derselben gebraucht zu werden pflegt, sich ebenfalls nur durch den Gebrauch der Sprache feststellt und nur ausnahmsweise durch eine begriffliche Definition unterstützt wird.

Bei diesem Vorgange, den wir aus alltäglicher Erfahrung kennen und der sich ähnlich für das Verständniß des Wortschatzes jeder fremden Sprache, die wir später erlernen, wiederholt, ist zunächst bekannt, daß die Bedeutung jedes Wortes sich desto fester einprägt, je öfter wiederholt wir es anwenden oder anwenden hören; ferner, daß wir anfangs zwar noch die einzelnen Fälle, wo wir es haben anwenden hören, im Gedächtniß behalten. Später dagegen, wenn die Zahl dieser Fälle zu groß geworden ist, als daß wir sie alle einzeln mit den Nebenumständen und in der Zeitfolge, mit und in denen sie eingetreten sind, aus unserer Erinnerung uns aufzählen könnten, bleibt uns nur das Gesamtergebniß unserer bisherigen Erfahrungen stehen, daß das bestimmte Wort diese bestimmte Reihe einander ähnlicher Gegenstände oder einander ähnlicher Vorgänge zu bedeuten pflegt; aber wir wissen nicht mehr anzugeben, bei welchen einzelnen Gelegenheiten wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, auch nicht, warum wir es für die eine Modification des Begriffes gebrauchen, bei einer anderen aber Anstand nehmen, dies zu thun.

Ich schliesse aus diesen Beobachtungen, daß wir durch häufige Wiederholung gleichartiger Erfahrungen dazu gelangen können, eine regelmäßig immer wieder eintretende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Perceptionen, beziehlich Vorstellungen, z. B. zwischen dem Klang eines Wortes und sichtbaren oder fühlbaren Anschauungsbildern, herzustellen und immer fester zu machen, die ursprünglich gar keinen natürlichen Zusammenhang zu haben brauchen, und daß, wenn dies geschehen ist, wir gar nicht mehr im Einzelnen anzugeben wissen, wie wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, und auf welche einzelne Beobachtungen sie sich stützt.

Schließlich finden wir, daß wir nicht nur für unsere Muttersprache, sondern auch für gut erlernte fremde Sprachen einen Grad des Verständnisses erreichen können, bei dem wir ohne Nachsinnen und Überlegung im Augenblick den Sinn dessen verstehen, was der mit uns Sprechende uns mittheilen will, und daß wir im Stande sind, den feinsten und mannigfaltigsten Modificationen seines Gedankens und seiner Empfindung dabei zu folgen. Wenn wir aber sagen sollen, wie wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, so können wir dies nur in der Form des allgemeinen Satzes aussprechen, daß wir immer gefunden haben, daß diese Worte in diesem Sinne gebraucht wurden.

Wir kennen es aber als eine allgemeine Regel der Wirkungsweise unseres





zu beschränken, sondern kann auch die Gesammtheit der perspectivischen Bilder umfassen und vereinigen, welche nach einander durch Betrachtung von verschiedenen Gesichtspunkten aus gewonnen werden können. In der That finden wir, daß wir von wohlbekannten Gegenständen eine Vorstellung ihrer körperlichen Form in uns tragen, welche die Gesammtheit aller der einzelnen perspectivischen Bilder, die wir von verschiedenen Gesichtspunkten aus dahin blickend gewinnen können, vertritt. Denn mit der Kenntniß der körperlichen Form des Objectes ausgerüstet können wir uns die sämtlichen perspectivischen Bilder, die wir bei der Ansicht von dieser oder jener Seite zu erwarten haben, deutlich vorstellen, und in der That nehmen wir sogleich Anstoß, wo ein solches Bild unserer Erwartung nicht entspricht, wie es z. B. geschehen kann, wenn durch die Änderung der Lage des Gegenstandes eine Änderung seiner Körperform eintritt. Man denke nur daran, wie außerordentlich empfindlich ein aufmerksamer Beobachter gegen Zeichenfehler in Darstellungen von Menschen oder Pferden sich erweisen kann, oder gegen kleine Fehler perspectivischer Constructionen, welche regelmäßige architektonische Gebilde darstellen sollen. Ja, es kommen häufig genug Fälle vor, wo man eher einen kleinen Fehler in einer perspectivischen Zeichnung bemerkt, als einen gleich großen in dem Umrisse eines der Rechtecke, welche Theile der Zeichnung bilden, wenn eines derselben isolirt nachconstruirt wird.

In der That ist die körperliche Form eines festen Objectes eine Größe, die viel mannigfaltigere constante Beziehungen zwischen ihren verschiedenen Theilen und Dimensionen darbietet, als jedes einzelne perspectivische Bild derselben, und aus der ersteren ist daher bei bekannter Lagenänderung die Änderung jeder perspectivischen Ansicht sicher herzuleiten, weil dies unter dem Eindruck eines ganz festen, wenn auch räumlichen Vorstellungsbildes geschehen kann, welches das constant bleibende Ergebniß aller einzelnen Flächenansichten zusammenfaßt, während eine einzige perspectivische Ansicht nicht die nöthigen Daten liefert, um eine ganz sichere und unzweideutige Vorstellung von der Form des Ganzen und seiner wechselnden Ansichten von anderen Seiten her zu gewinnen. Die auf die festere und einfachere Gesetzmäßigkeit gestützte Vorstellung erweist sich hier also auch als die, welche die sicherere Anschauung giebt.

Wir werden später bei der Beschreibung der stereoskopischen Bilder noch eigenthümliche Erscheinungen zu erwähnen haben, welche dieses Verhältniß sehr augenfällig machen. Wenn man nämlich ein Paar stereoskopische Bilder mit etwas verwickelter Führung der Grenzlinien, z. B. eines regelmäßigen Polyeders oder Krystallmodells, vor Augen hat, mißlingen die Versuche, das körperliche Bild aus den beiden Darstellungen zur Vereinigung zu bringen, oft im Anfang dadurch, daß die Blickpunkte der beiden Augen leicht auf nicht einander entsprechenden Linien fortgleiten und sich wieder trennen, bis man die richtige körperliche Vorstellung von dem dargestellten Object gewonnen hat. So wie diese gefunden ist, wandern die beiden Blicklinien mit der größten Sicherheit und Schnelligkeit über alle Theile der Figuren hin. Hier bewährt sich also in der That die Gesamtaufassung der Körperform gleich als die Regel für die Vorstellung, nach welcher man die beiden Blicklinien zu führen hat, um fortdauernd auf correspondirenden Punkten beider Zeichnungen zu bleiben.

In welcher Weise solche Kenntnisse der Bedeutung der Gesichtsbilder von jungen menschlichen Kindern zuerst gesammelt werden, ergiebt sich leicht, wenn wir dieselben beobachten, während sie mit den ihnen als Spielzeug dargebotenen Objecten sich beschäftigen, wie sie dieselben betasten, stundenlang von allen Seiten







Unvollständigkeit der Induction, deren häufigste Veranlassung darin zu suchen ist, daß wir gewohnheitsmäßig gewisse Arten des Gebrauches unserer Sinnesorgane bevorzugen, diejenigen nämlich, wobei wir erkennen, daß wir durch sie das sicherste und übereinstimmendste Urtheil, beziehlich Schätzung über die beobachteten Objecte, ihre Form, Raumverhältnisse und Beschaffenheit uns bilden können. So pflegen wir z. B. beim Sehen die Objecte, welche unsere Aufmerksamkeit erregen, auf den beiden Stellen des genauesten Sehens in beiden Augen abzubilden, dabei aber die Reihe der hervortretenden Punkte und Linien, die das Object darbietet, mit dem Blick zu durchlaufen, wodurch wir sowohl die Reihe aller Einzelheiten kennen lernen als auch das Auge gegen die Ausbildung störender Nachbilder schützen. Wir werden im Folgenden eine ganze Reihe solcher Regelmäßigkeiten in den Bewegungen des Auges kennen lernen, welche nicht auf einem zwingenden Mechanismus der Muskeln oder Nervenleitungen beruhen, sondern von jedem Beobachter, wenn er die entsprechenden abweichenden Innervationen zu geben gelernt hat, willkürlich geändert werden können. Dadurch läßt sich erweisen, daß die Einhaltung der normalen Regelmäßigkeit der Bewegungen nur ein Ergebniss der Gewöhnung ist und nicht etwa ein durch die Organisation unseres Körpers vorgebildeter Zwang. Allerdings sind solche Gewohnheiten oft sehr tief gewurzelt und nicht ganz leicht zu überwinden. Die von der Norm abweichenden Bewegungen erfordern entschieden mehr Anstrengung und ermüden schneller. Das ist aber eine gemeinsame Eigenthümlichkeit aller ungewohnten Bewegungen unserer Muskeln, weil dieselben meist durch unzweckmäßige, einander entgegenwirkende und daher anstrengendere Innervationen hervorgebracht zu werden pflegen, als es die gewohnten und wohl eingeübten Bewegungen thun.

Bei ungewohnten Stellungen und Bewegungen unserer Sinnesorgane kommen nun auch entsprechende ungewöhnliche Perceptionen zu Stande, für welche wir keine eingeübte Kenntniß ihrer Bedeutung haben. Dann entstehen also falsche Deutungen derselben, und zwar kann man im Allgemeinen die Regel aufstellen, daß bei anomaler Stellung und Bewegung der Sinnesorgane Anschauungen entstehen von scheinbaren Objecten, wie sie vorhanden sein müßten, um bei derselben Blickrichtung unter normaler Beobachtungsweise dieselben Perceptionen hervorzubringen. Unter dieselbe Regel fallen auch die Anschauungen, welche sich bilden, wenn die Lichtstrahlen, ehe sie in das Auge fallen, von ihrem geradlinigen Wege abgelenkt werden, wie es durch Spiegelung und Brechung geschehen kann, nur daß wir in diesem Falle die Täuschung eher als solche erkennen; aber das Bild, was sich uns darbietet, ist immer das eines Gegenstandes oder einer scheinbaren Ausbreitung von Licht im Gesichtsfelde, wie sie vorhanden sein müßte, um uns bei ungestörtem geradlinigen Einfall des objectiven Lichtes in das Auge dieselben Gesichtsbilder zu geben.

Beispiele von Fällen dieser Art werden sich im weiteren Verfolg dieser Untersuchung vielfach darbieten. Ihre Erklärungen werden sich besser bei den einzelnen Beispielen durchführen lassen unter genauer Beschreibung der Bedingungen, unter denen die einzelnen Täuschungen eintreten. Physiologisch sind diese Erscheinungen von Wichtigkeit, weil sie uns die normalen Beobachtungsmethoden des Auges kennen lehren, von denen sich meistens nachweisen läßt, daß sie auch als diejenigen angesehen werden dürfen, welche die genauesten Schätzungen der Dimensionen durch das Augenmaß, die genauesten Vergleichen der Farben und Helligkeiten, überhaupt eine möglichst genaue und sichere Beurtheilung der interessirenden Theile des Bildes zulassen.

Was den Grad der Täuschung bei solchen Gelegenheiten betrifft, so kann



weise hierbei auf die unten in § 28 besprochenen Versuche mit momentaner Beleuchtung eines vorher vollständig verdunkelten Feldes, auf welchem ein Blatt mit großen gedruckten Buchstaben ausgebreitet war. Vor der elektrischen Entladung erblickte der Beobachter nichts als einen mäßig erhellten Nadelstich, der das Papier durchbohrte. Dieser wurde fest fixirt und diente zur ungefähren Orientirung über die Richtungen in dem dunklen Felde. Die elektrische Entladung erleuchtete das bedruckte Blatt für einen untheilbaren Augenblick, in welchem das Bild desselben sichtbar wurde und eine sehr kurze Zeit als positives Nachbild stehen blieb. Die Dauer der Wahrnehmbarkeit des Bildes war also auf die Dauer des Nachbildes beschränkt. Augenbewegungen von meßbarer GröÙe konnten während der Dauer des Funkens nicht ausgeführt werden, und auch solche während der kurzen Dauer des Nachbildes konnten dessen Lage auf der Netzhaut nicht mehr ändern. Dessenungeachtet fand ich es möglich, mir vorher vorzunehmen, welchen Theil des dunklen Feldes seitlich von dem fortdauernd fest fixirten hellen Nadelstich ich im indirecten Sehen wahrnehmen wollte, und erkannte bei der elektrischen Beleuchtung dann wirklich einige Buchstabengruppen jener Gegend des Feldes, meist aber mit dazwischenbleibenden Lücken, die leer blieben. Nach starken Blitzen hatte ich in der Regel mehr Buchstaben gelesen, als nach schwächeren. Die Buchstaben des bei Weitem größten Theile des Feldes waren dagegen nicht zur Wahrnehmung gekommen, auch nicht immer die in der Nähe des Fixationspunktes. Bei einer folgenden elektrischen Entladung konnte ich, immer den Nadelstich fixirend, meine Wahrnehmung auf eine andere Gegend des Feldes richten und dann dort eine Gruppe von Buchstaben lesen.

Diese Beobachtungen erweisen, wie mir scheint, daß man durch eine willkürliche Art von Intention, auch ohne Augenbewegungen, ohne Änderungen der Accommodation die Aufmerksamkeit auf die Empfindungen eines bestimmten Theils unseres peripherischen Nervensystems concentriren, und sie gleichzeitig von allen anderen Theilen desselben ausschließen kann.

Bei der gewöhnlichen Art des Beobachtens richten wir allerdings auch die Aufmerksamkeit willkürlich besonderen Theilen des Gesichtsfeldes oder des Gebietes der Perceptionen überhaupt zu. Dabei folgt aber Richtung des Blicks und Accommodation der Intention der Aufmerksamkeit, und es könnte also diese Erfahrung so ausgelegt werden, daß die Aufmerksamkeit eben stets an die Netzhautgrube geknüpft sei, und das die Willkürlichkeit ihrer Richtung nur durch die Willkürlichkeit der Augenbewegungen bedingt sei. In der That ist es recht schwer und erfordert vielfache Übung, wenn man lernen, will die Aufmerksamkeit den Bildern der seitlichen oder peripherischen Theile der Netzhaut zuzuwenden, wie dies mehr oder weniger fast alle die bisher beschriebenen Phänomene der genannten Art erkennen lassen. Als solche Bedingungen, unter denen dieselben leichter die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, sind folgende zu bemerken:

1. Höhere Intensitäten der Phänomene, namentlich wenn dieselben die Sichtbarkeit der reellen Objecte beeinträchtigen.

2. Schneller Wechsel des Helligkeitsunterschiedes zwischen nahe benachbarten Theilen des Feldes, daher auch Bewegung begrenzter Flächenstücke im Felde, oder auch Bewegung von Schatten durch Wechsel der Beleuchtungsrichtung, wie bei den entoptischen Objecten. Wechsel der Helligkeit bringt, wie schon bemerkt, wegen der abschwächenden Wirkung der negativen Nachbilder stets einen intensiveren Eindruck hervor, als constante Intensität der Beleuchtung. Das könnte einen Theil der dadurch erfolgenden Vermehrung der Aufmerksamkeit erklären. Der unmittelbare Eindruck





des Kopfes betrachtet, als bei der gewöhnlichen aufrechten Haltung. Bei der gewöhnlichen Art der Beobachtung suchen wir nur die Objecte als solche richtig zu beurtheilen. Wir wissen, daß grüne Flächen aus einer gewissen Entfernung in etwas verändertem Farbenton erscheinen; wir gewöhnen uns von dieser Veränderung abzusehen und lernen das veränderte Grün ferner Wiesen und Bäume doch mit der entsprechenden Farbe naher Objecte zu identificiren. Bei sehr fernen Objecten, fernen Bergreihen bleibt von der Körperfarbe wenig zu erkennen, sie wird meist durch die Farbe der erleuchteten Luft überdeckt. Diese unbestimmt blaugraue Farbe, an welche nach oben das helle blaue Feld des Himmels oder das rothgelbe der Abendbeleuchtung, nach unten das lebhafte Grün der Wiesen und Wälder grenzt, 434 ist Veränderungen durch den Contrast sehr ausgesetzt. Es ist für uns die unbestimmte und wechselnde Farbe der Ferne, deren Unterschied zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Beleuchtungen wir wohl genauer beachten, während wir ihre wahre Beschaffenheit nicht bestimmen, da wir sie auf kein bestimmtes Object zu übertragen haben und wir eben ihre wechselnde Beschaffenheit kennen. So wie wir uns aber in ungewöhnliche Umstände versetzen, z. B. unter dem Arme oder zwischen den Beinen durchsehen, so erscheint uns die Landschaft als ein plattes Bild, theils wegen der ungewöhnlichen Lage ihres Bildes im Auge, theils weil die binoculare Beurtheilung der Entfernung, wie wir unten sehen werden, ungenauer wird. Ja es kommt wohl vor, daß bei umgekehrtem Kopfe die Wolken richtige Perspective bekommen, während die Objecte der Erde als ein Gemälde auf senkrechter Fläche erscheinen, wie sonst die Wolken am Himmel. Damit verlieren auch die Farben ihre Beziehung zu nahen oder fernen Objecten und treten uns nun rein in ihren eigenthümlichen Unterschieden entgegen.<sup>1</sup> Da erkennen wir denn ohne Mühe, daß das unbestimmte Blaugrau der weiten Ferne oft ziemlich gesättigtes Violett ist, daß das Grün der Vegetation stufenweise durch Blaugrün und Blau in jenes Violett übergeht u. s. w. Dieser ganze Unterschied scheint mir nur darauf zu beruhen, daß wir die Farben nicht mehr als Zeichen für die Beschaffenheit von Objecten betrachten, sondern nur noch als verschiedene Empfindungen und wir deshalb ihre eigenthümlichen Unterschiede, unbeirrt durch andere Rücksichten, genauer auffassen.

Wie sehr wir durch die Beziehung der Empfindungen auf äußere Objecte an der Perception der einfachsten Verhältnisse der Empfindungen selbst gestört werden, wird sich namentlich auch in der Schwierigkeit zeigen, mit der wir die binocularen Doppelbilder wahrnehmen, wenn dieselben als Bilder ein und desselben äußeren Objects aufgefaßt werden können.

Die gleichen Erfahrungen können wir im Gebiete anderer Sinnesempfindungen in gleicher Weise machen. Die Empfindung der Klangfarbe eines Schalls ist, wie ich anderwärts<sup>2</sup> gezeigt habe, zusammengesetzt aus einer Reihe von Empfindungen seiner einzelnen Partialtöne (Grundton und

<sup>1</sup> Dieselbe Erklärung bei O. N. ROOD, in *Silliman Journal* (2) XXXII, p. 184—185, 1861.

<sup>2</sup> HELMHOLTZ, *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Braunschweig, 1. Aufl. 1862. 4. Aufl. 1877.



ersteren wohl als die nativistische Theorie der Sinneswahrnehmungen bezeichnen.

In diesem Streite sind, wie ich glaube, folgende Grundsätze festzuhalten.

Wenn wir den Namen der Vorstellung beschränken auf das Erinnerungsbild von Gesichtsobjecten, welches von keinen gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen begleitet ist, den der Anschauung auf die von den bezüglichen sinnlichen Empfindungen begleitete Wahrnehmung, den der Perception auf eine solche Anschauung, in der nichts enthalten ist, was nicht aus den unmittelbar gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen hervorgeht, also eine Anschauung, wie sie auch ohne alle Erinnerung an früher Erfahrenes sich bilden könnte, so ist zunächst klar, daß ein und dieselbe Anschauung in sehr verschiedenem Maße von den entsprechenden sinnlichen Empfindungen begleitet sein kann, daß also Vorstellung und Perception in den verschiedensten Verhältnissen sich zur Anschauung verbinden können.

Wenn ich mich in einem bekannten Zimmer befinde bei hellem Sonnenschein, so habe ich eine von sehr energischen Empfindungen reichlich begleitete Anschauung. In demselben Raum werde ich Abends in der Dämmerung nur die helleren Objecte erkennen können, namentlich die Fenster, aber was ich wirklich noch erkenne, schmilzt mit meinen Gedächtnisbildern, die das Zimmer betreffen, so zusammen, daß ich immer noch im Stande sein werde, mich in demselben sicher umher zu bewegen und Gegenstände, die ich suche, zu finden, selbst wenn ich von ihnen nur ein schattenhaftes Bild erhaschen kann, was ohne meine vorgängige Kenntniss durchaus ungenügend wäre, sie zu erkennen. Endlich kann ich mich in demselben Raume in absolutem Dunkel befinden, und mich doch, vermöge der Erinnerung an die früher von ihm erhaltenen Gesichtsbilder in ihm zurechtfinden, so daß das Anschauungsbild durch immer weitere Beschränkung des sinnlichen Materials endlich auf das reine Vorstellungsbild zurückgeführt werden und in dieses allmählig übergehen kann. Meine Bewegungen werden allerdings um so unsicherer, meine Anschauung um so ungenauer werden, je mehr das sinnliche Material entzogen wird, indessen wird kein eigentlicher Sprung stattfinden, sondern Empfindung und Erinnerung werden sich fortdauernd ergänzen, nur in verschiedenem Maße.

Aber selbst, wenn wir ein solches Zimmer bei vollem Sonnenschein beschauen, so zeigt eine leichte Ueberlegung, daß auch dann ein großer Theil unseres Anschauungsbildes auf Momenten der Erinnerung und Erfahrung beruhen mag. Unsere Gewöhnung an die perspectivischen Verziehungen der Bilder parallelepipedischer Körper und an die Form der Schlagschatten ist bei der Beurtheilung ihrer Form und ihrer Größe von beträchtlichem Einflusse, wie wir später sehen werden. Schliessen wir, während wir das Zimmer betrachten, ein Auge, so glauben wir es nicht weniger deutlich und bestimmt vor uns zu sehen, als mit zwei Augen, und doch würde uns nun genau dasselbe Gesichtsbild gegeben werden, wenn alle Punkte des Zimmers



Empfindung durch einen Act des Verständnisses beseitigt und überwunden werden kann, sondern wenn wir auch noch so gut erkennen, daß dieselbe auf irgend eine anomale Weise zu Stande gekommen sei, so schwindet doch die Sinnestäuschung nicht durch das Verständniß des Vorganges. Wir können die Aufmerksamkeit von Empfindungen ablenken, namentlich, wenn es schwache und gewohnte Empfindungen sind, aber so wie wir auf diejenigen Verhältnisse der Außenwelt merken, die mit diesen Empfindungen in Verbindung stehen, werden wir gezwungen sein, dieselben zu bemerken. So können wir die Temperaturempfindung unserer Haut, wenn sie nicht sehr lebhaft ist, und die Berührungsempfindungen, welche unsere Kleider verursachen, vergessen, so lange wir uns mit ganz anderen Dingen beschäftigen. So wie wir aber unsere Aufmerksamkeit darauf lenken, ob es warm oder kalt sei, werden wir nicht im Stande sein, das Gefühl von Wärme in das von Kälte zu verwandeln, etwa, weil wir wissen, daß es herrührt von anstrengender Bewegung und nicht von der Temperatur der uns umgebenden Luft. Ebenso wenig schwindet der Lichtschein beim Druck auf das Auge durch bessere Einsicht in das Wesen des Processes, vorausgesetzt, daß wir unsere Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde zugewendet haben, und nicht etwa dem Ohre oder der Haut.

Andererseits können wir auch vielleicht nicht im Stande sein, einen Empfindungseindruck zu isoliren, weil er eingeht in das zusammengesetzte sinnliche Zeichen eines äußeren Objects. Dann zeigt aber die richtige Auffassung des Objects, daß die betreffende Empfindung percipirt und vom 438 Bewußtsein verwendet worden ist.

Ich schliesse daraus, daß nichts in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden kann, was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegentheil verkehrt werden kann.

Was also durch Erfahrungsmomente überwunden werden kann, werden wir selbst als Product der Erfahrung und Einübung zu betrachten haben. Es wird sich zeigen, daß wenn wir dieser Regel folgen, nur die Qualitäten der Empfindung als wirkliche reine Empfindung zu betrachten sind, bei weitem die meisten Raumanschauungen aber als Product der Erfahrung und Einübung.

Dagegen folgt nicht, daß Anschauungen, die gegen unsere bessere bewußte Einsicht Stand halten und uns als Sinnestäuschungen stehen bleiben, nicht doch auf Erfahrung und Einübung beruhen könnten. Unsere Kenntniß der Farbenveränderungen, welche die Trübung der Luft an fernen Gegenständen hervorbringt, der perspectivischen Verziehungen und der Form der Schlag-schatten beruht unzweifelhaft auf Erfahrung, und doch werden wir vor einem guten Landschaftsbilde den vollkommenen sinnlichen Eindruck der Ferne und der körperlichen Gestalt darauf befindlicher Gebäude haben, trotzdem wir wissen, daß alles auf die Leinwand gezeichnet ist.

Ebenso ist unsere Kenntniß des zusammengesetzten Klangs der Vocale



KANT hatte Raum und Zeit kurzweg als gegebene Formen aller Anschauung hingestellt, ohne weiter zu untersuchen, wie viel in der näheren Ausbildung der einzelnen räumlichen und zeitlichen Anschauungen aus der Erfahrung hergeleitet sein könnte. Diese Untersuchung lag auch außerhalb seines Weges. So betrachtete er namentlich die geometrischen Axiome auch als ursprünglich in der Raumanschauung gegebene Sätze, eine Ansicht, die ich zu widerlegen gesucht habe.<sup>1</sup> Seinem Vorgange schlossen sich JOH. MÜLLER und die Reihe von Physiologen an, welche die nativistische Theorie der Raumanschauung auszubilden suchten. JOH. MÜLLER selbst nahm an, daß die Netzhaut in ihrer räumlichen Ausdehnung sich selbst empfinden vermöge einer angeborenen Fähigkeit dazu, und daß die Empfindungen beider Netzhäute hierbei verschmelzen. Als derjenige, welcher in neuerer Zeit am consequentesten diese Ansicht durchzuführen und den neueren Entdeckungen anzupassen gesucht hat, ist E. HERING zu nennen.

Schon vor MÜLLER hatte STEINBUCH eine Herleitung der räumlichen Einzelanschauungen mittelst der Bewegungen der Augen und des Körpers versucht. Von philosophischer Seite nahmen HERBART, LOTZE, WAITZ und CORNELIUS dieselbe Aufgabe in Angriff. Von empirischer Seite war es später namentlich WHEATSTONE, welcher durch die Erfindung des Stereoskops einen mächtigen Anstoß zur Untersuchung des Einflusses der Erfahrung auf unsere Gesichtsanschauungen gab. Ausser kleineren Beiträgen, die ich selbst in verschiedenen Arbeiten zur Lösung dieser Aufgabe gegeben habe, sind hier als Versuche, eine empiristische Ansicht durchzuführen, zu nennen: die Schriften von NAGEL, WUNDT, CLASSEN. Das Nähere über diese Untersuchungen und Streitpunkte ist in den folgenden Paragraphen zu erörtern.

## § 27. Die Augenbewegungen.

457

Da die Bewegungen der Augen eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Raumanschauungen durch den Gesichtssinn spielen, so müssen wir zunächst mit ihnen näher bekannt werden.

Der Augapfel hat zwar keine aus Knochen fest geformte regelmäßige Gelenkhöhle, wie wir sie in den Gelenken der Extremitäten finden; die Augenhöhle, in der er liegt, ist vielmehr, wie *Fig. 30*, S. 42, zeigt, im Ganzen eine Höhlung von der Gestalt einer vierkantigen Pyramide, deren Spitze nach hinten sieht, und welche sich in keiner Weise dem nahehin kugelig geformten Augapfel anschließen kann. Die Lücken, welche zwischen dem letzteren und den knöchernen Wänden der Höhle bleiben, werden durch sehr fetthaltiges loses Bindegewebe ausgefüllt, in welchem die Muskeln, Nerven, Gefäße des Auges, die Thränendrüse u. s. w. liegen. Verhältnismäßig am engsten sind diese Lücken längs des vorderen Randes der Augenhöhle; es bleibt dort, namentlich nach oben, innen und aussen nur ein ziemlich schmaler Spalt zwischen dem Augapfel und dem Knochen übrig, wie man leicht fühlen kann, wenn man die Fingerspitze dazwischenzuschieben sucht. Man kann dies nicht, ohne sogleich Druckbilder hervorzubringen; nur nach unten und aussen gegen das Jochbein hin ist die Lücke etwas größer. Dadurch ist nun die weiche Masse von Fett, Muskeln, Nerven, Gefäßen und Drüsen, welche hinter dem Augapfel liegt, in eine Höhlung eingeschlossen, welche fast vollständig von festen Wänden umgeben ist, und nur wenige

---

Siehe: H. V. HELMHOLTZ, *Populäre wissenschaftliche Reden und Vorträge*. Bd. II, S. 1.





gingen. Es zeigte sich indessen, daß die Ellipticität der Hornhäute einen merklichen Einfluß auf die Berechnung der Resultate hatte, und da es sehr mühsam ist, diese Ellipticität für viele Augen zu bestimmen, so war die Methode nicht eben ausgedehnter Anwendung fähig, obgleich sie übrigens sehr genaue Resultate gab.

DONDERS und DOLJER<sup>1</sup> haben deshalb eine einfachere Methode angewendet, welche sich als zureichend genau bewährte. Es wurde zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer gemessen, und die Lage der Gesichtslinie gegen die Hornhautaxe bestimmt. Dann wurde ein feiner senkrechter Faden unmittelbar vor dem Auge ausgespannt, und beobachtet, wie weit das Auge nach rechts und links blicken mußte, damit bald der eine, bald der andere Rand der Hornhaut hinter den Faden trat. Aus diesem Winkel und der bekannten Breite der Drehungen ließ sich dann die Lage des Drehpunkts berechnen. Das Nähere darüber unten.

Danach ergab sich, daß bei 19 normalsichtigen Augen der Drehpunkt zwischen 10,42 und 11,77 Mm. hinter der durch den Rand der Hornhaut gelegten Ebene lag, im Mittel 10,957; oder 13,557 hinter dem Scheitel der Hornhaut, und etwa 10 Mm. vor der hinteren Fläche der Sclerotica, der 459 letzteren also etwas näher als der Basis der Hornhaut. Die Lage des Drehpunkts hängt eben hauptsächlich ab von der Form der hinteren Hälfte des Augapfels, weil nur diese in Berührung kommt mit dem widerstehenden weichen Polster, welches den Grund der Augenhöhle ausfüllt. Diese hintere Hälfte des Augapfels scheint bei normalen Augen einem stärker abgeplatteten Ellipsoide anzugehören, als die vordere; der Drehpunkt muß etwa mit dem Mittelpunkt dieses Ellipsoids zusammenfallen.

Kurzsichtige Augen sind nach hinten verlängert; bei ihnen liegt deshalb der Drehpunkt auch weiter nach hinten als bei normalsichtigen. DONDERS fand ihn im Maximo bis zu 13,26 Mm. hinter der Basis der Hornhaut oder 15,86 hinter ihrem Scheitel liegend. Hyperopische Augen dagegen sind hinten abgeflacht, wobei auch der Drehpunkt ein wenig mehr nach vorn rückt; das Minimum seiner Entfernung von der Basis der Hornhaut betrug 9,71 Mm. oder 12,32 hinter dem Scheitel der Hornhaut.

Ob der Drehpunkt für jede Richtung und GröÙe der Drehung ganz constant sei, hat DONDERS noch nicht untersucht.

Es stellte sich bei diesen Versuchen ferner heraus, daß die normalen Augen mit einer einzigen Ausnahme die für diese Versuche nöthigen Drehungen des Auges, welche  $28^{\circ}$  nach beiden Seiten hin betrugen, ohne Schwierigkeit ausführen konnten, die kurzsichtigen Augen aber hatten oft eine beschränktere Beweglichkeit; unter den Hyperopen fand sich ebenfalls nur ein Ausnahmefall mit beschränkterer Beweglichkeit. Doch können die meisten Augen auch wohl noch stärkere Drehungen ausführen. Ich erreiche bei stärkerer Anstrengung in horizontaler Richtung etwa  $50^{\circ}$  nach beiden

<sup>1</sup> Derde Jaarlijksch Verslag betr. het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Utrecht 1862, p. 209—229.



So ist ein rechtwinkeliges Coordinatensystem gegeben, welches im Kopfe selbst als fest, und mit ihm beweglich angesehen wird. Die beiden Seiten der Medianebene sind als rechts und links zu bezeichnen, die einer Sagittalebene als innen und außen, oder wo dies eine Verwechselung in Beziehung auf das Innere von hohlen Organen zulassen würde, nach HENLE'S Vorschlag als laterale (nach der äußeren Seite sehend) und als mediale (gegen die Medianebene sehend) zu bezeichnen. Die beiden Seiten der transversalen Schnitte werden als oben und unten bezeichnet werden können, oder wo dies bei schiefer Haltung des Kopfes zweideutig sein könnte, als stirnwärts und kinnwärts gekehrt. Die beiden Seiten der Frontalschnitte sind unzweideutig als vorn und hinten zu bezeichnen.

Für die Bewegungen des Auges bildet der Drehpunkt den festen Punkt, und beim normalen Sehen sind beide Augen immer so gestellt, daß sie ein und denselben äußeren Punkt fixiren, welcher Punkt, da das Sehen mit bewegtem Auge Blicken genannt wird, der Blickpunkt heißen mag (sonst auch Fixationspunkt genannt). Eine gerade Linie, welche vom Blickpunkte nach dem Drehpunkte des Auges gezogen ist, nennen wir Blicklinie. Sie ist nicht ganz identisch mit der Gesichtslinie, die dem ungebrochenen Lichtstrahle entspricht, sondern muß etwas auf deren innerer (medialer) Seite liegen, da der Drehpunkt vermuthlich in der Augenaxe, und somit medianwärts von der Gesichtslinie liegt. Doch wird die Abweichung beider Linien von einander in den meisten Fällen zu vernachlässigen sein. Ein Lichtstrahl, der der Blicklinie folgt, muß wie alle vom Blickpunkte ausgehenden Strahlen schließlich durch das Centrum des gelben Flecks gehen, 461 und wird deshalb nicht in der Verlängerung der Blicklinie bleiben können.

Eine Ebene, welche durch die beiden Blicklinien gelegt ist, werde Blickebene genannt (der Name der Visirebene, der hierfür auch gebraucht ist, wird wohl besser für die Ebene, in der die Visirlinien liegen, aufgespart; übrigens wird der Unterschied zwischen Blickebene und Visirebene in der Regel zu vernachlässigen sein). Die Verbindungslinie der Drehpunkte, welche mit den beiden Blicklinien ein Dreieck einschließt, ist als Basis dieses Dreiecks betrachtet, und dem entsprechend Grundlinie (Basallinie) genannt worden. Die Medianebene des Kopfes schneidet die Grundlinie in ihrem Mittelpunkte, und die Blickebene in der Medianlinie der Blickebene.

Der Blickpunkt kann gehoben und gesenkt, das heißt stirnwärts oder kinnwärts bewegt werden. Das Feld, welches er durchlaufen kann, nennen wir das Blickfeld; seine Ausdehnung ist geringer als die des Gesichtsfeldes. Wir denken uns das Blickfeld als Theil einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunkt im Drehpunkt liegt. Nehmen wir eine bestimmte Lage der Blickebene, die anfangs willkürlich gewählt, später näher bestimmt werden mag, als ihre Anfangslage an, so ist jede neue Lage der Blickebene zu bestimmen durch den Winkel, den sie mit der Anfangslage bildet, und den wir den Erhebungswinkel des Blicks nennen wollen. Derselbe ist



geraden Linien sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden, was bei den normalsichtigen in der oben genannten der Medianebene parallelen Richtung des Blicks Regel zu sein scheint. Den Winkel zwischen dem Netzhauthorizonte und der Blickebene nennen wir den Raddrehungswinkel des Auges, und nehmen ihn positiv, wenn das obere Ende des verticalen Meridians der Netzhaut nach rechts abgewichen ist. Dabei dreht sich das Auge wie der Zeiger einer von ihm betrachteten Uhr.

Wir wollen zunächst die Gesetze für diejenigen Bewegungen beider Augen untersuchen, bei denen beide Blicklinien fortdauernd parallel gerichtet bleiben, wie sie ausgeführt werden, wenn man eine Reihe weit entfernter Gegenstände überblickt. Bei Convergenz der Augen treten kleine Abweichungen vom dem Gesetze ein, welches für parallele Gesichtslinien gilt.

Das erste von DONDERS aufgestellte und durch alle späteren Untersuchungen bestätigte Gesetz ist, daß, wenn die Lage der Blicklinie in Beziehung zum Kopfe gegeben ist, dazu auch ein bestimmter und unveränderlicher Werth der Raddrehung gehört, welcher unabhängig von der Willkür des Beobachters und unabhängig von dem Wege ist, auf welchem die Blicklinie in die betreffende Stellung gebracht ist. Ausgedrückt in der von uns gewählten Bezeichnungsweise, heißt dieses Gesetz:

Der Raddrehungswinkel jedes Auges ist bei parallelen Blicklinien eine Function nur von dem Erhebungswinkel und dem Seitenwendungswinkel.

DONDERS hat namentlich entgegen der von HUECK früher aufgestellten Meinung gezeigt, daß der Werth der Raddrehung nicht wechselt bei geänderter Neigung des Kopfes, wenn dabei die Stellung der Blicklinie zum Kopfe unverändert bleibt. Er hatte die Stellung jedes einzelnen Auges auch für unabhängig von der Stellung des andern Auges gehalten. Dagegen hat VOLKMANN allerdings einen, wenn auch geringen Einfluß der Convergenz 463 wenigstens für kurzsichtige Augen nachgewiesen, den wir nachher besprechen werden. Aber auch abgesehen davon hat Ermüdung der Augenmuskeln durch länger eingehaltene Convergenzstellungen einigen Einfluß, und außerdem kann unter besonderen ebenfalls nachher zu besprechenden Umständen das Streben, die Objecte einfach zu sehen, unter Bedingungen, wo man dies nur mittelst abnormer Augendrehungen erreichen kann, wenn auch nicht sogleich, aber nach einiger Zeit einen Einfluß auf die Stellung des Auges ausüben. Kleine Veränderungen treten auch von einem zum anderen Tage ein. Aber alle diese Abweichungen sind gering und beeinträchtigen der Hauptsache nach nicht die Geltung des DONDERS'schen Gesetzes.

Die Hauptzüge des Gesetzes der Augendrehungen, welche allen Augen gemeinsam sind, lassen sich unter folgende Gesichtspunkte zusammenfassen.

Es ist unter den verschiedenen Augenstellungen eine herauszufinden von der Art, daß wenn von ihr aus der Blick gerade nach oben oder gerade nach unten, gerade nach rechts oder nach links gewendet wird, keine Raddrehung des Auges erfolgt. Diese Stellung nennen wir die Primärstellung



Blickebene mit der gegenüberliegenden Wand dagegen muß immer horizontal sein, wenn der Kopf des Beobachters die verlangte Stellung hat, so daß die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen selbst horizontal und der Ebene der Wand parallel ist. Die horizontalen Linien der Tapete geben also die Projection der Blickebene auf die Tapete, und wie das Nachbild gegen diese Horizontallinien gedreht ist, so ist der Netzhauthorizont gegen die Blickebene gedreht.

Wir finden, daß wenn man bei richtig gewählter Stellung des Kopfes gerade nach oben und unten, oder gerade nach rechts und links sieht, das Nachbild des horizontalen Bandes mit den horizontalen Linien der Tapete zusammenfällt. Wenn man aber nach rechts und oben oder nach links und unten blickt, so ist es nach links gedreht, d. h. sein linkes Ende steht tiefer als das rechte, immer im Vergleich zu den Horizontallinien der Tapete, und wenn man nach links oben oder rechts unten blickt, ist das Nachbild umgekehrt etwas nach rechts gedreht, sein rechtes Ende steht tiefer als das linke.

Der Sinn dieser Drehungen ist genau derselbe für das rechte wie für das linke Auge, wovon man sich am leichtesten und vollkommensten überzeugt, wenn man beide Augen gleichzeitig öffnet, während man das Nachbild hervorbringt, dann die Richtung des Blicks ändert, und während man das Nachbild betrachtet, schnell hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge mit der Hand verdeckt. Welches man auch verdecken möge, so behält das Nachbild bei den von mir untersuchten normalsichtigen Augen vollkommen dieselbe Stellung.

Wenn man das Band vertical ausspannt, und in derselben Weise das Nachbild des verticalen Bandes mit den Verticallinien der Tapete vergleicht, so erhält man scheinbar entgegengesetzte Drehungen. Wenn man nämlich nach rechts und oben sieht, erscheint das Nachbild gegen die Verticallinien der Tapete nicht nach links, sondern umgekehrt nach rechts gedreht. Daraus darf man aber nicht auf eine Drehung des Auges nach rechts schließen, weil in diesem Falle die verticalen Linien der Tapete nicht mit der Projection einer auf der Blickebene errichteten Normalen zusammenfallen, diese letztere 465 vielmehr in demselben Sinne, wie das Nachbild, nur noch stärker gedreht erscheinen würde.

Der ganze Gang der Erscheinung nach dem für normalsichtige Augen gültigen Gesetze ist in *Fig. 200* dargestellt worden. Es wird vorausgesetzt, daß das Auge sich in der Normale über  $a$  befinde in einer Entfernung gleich  $AB$ . Dann fallen die Nachbilder einer durch  $a$  gehenden horizontalen Linie, wenn sie auf einen andern Theil des Feldes projecirt werden, mit der Richtung der Curven  $b_1b_1$ ,  $b_2b_2$  etc. zusammen; die einer senkrechten durch  $a$  gehenden Linie dagegen mit der Richtung der Curven  $cc$ ,  $c_1c_1$ ,  $c_2c_2$  etc. Die Curven sind für normale Augenbewegungen Hyperbeln.

Da nun, wenn man von der Primärstellung ausgeht und den Blick schief nach oben oder unten wendet, die Nachbilder verticaler Linien, verglichen





Bei den von mir untersuchten Augen schien dieses Gesetz mit desto grösserer Schärfe erfüllt zu sein, je weniger kurzsichtig sie waren.

In dem in *Fig. 201* angedeuteten Versuche ergibt also die Beobachtung, daß sich die Linien  $\delta\delta$  und  $\gamma\gamma$ , wenn der Blick nach  $p$  gewendet ist, auf denselben Netzhauttheilen abbilden, auf denen sich  $dd$  und  $cc$  abbilden, wenn der Blick nach  $o$  gewendet ist. Fragt man nun, um was für eine Rotationsaxe der Augapfel gedreht werden müsse, um aus der ersten Lage in die zweite überzugehen, so ergibt sich leicht, daß die Axe parallel den Linien  $dd$  und  $\delta\delta$  sein müsse, und daher senkrecht zu der durch  $op$  und den Drehpunkt gelegten Ebene. Denkt man sich diese letztere Ebene in fester Lage zum Augapfel, so wird ihre Lage nicht geändert, wenn sie mit dem Augapfel um eine zu ihr normal gerichtete Axe gedreht wird. Ihre Schnittlinie mit der Ebene der Zeichnung  $op$  bleibt deshalb bei solcher Bewegung ebenfalls ungeändert, und diese Schnittlinie, zu deren Theilen auch  $cc$  und  $\gamma\gamma$  gehören, bildet sich dabei immer auf den gleichen Netzhauttheilen ab, wie es die Ergebnisse des Versuchs erfordern. Denkt man aber durch die Axe und die ihr parallele Linie  $dd$  eine Ebene gelegt, und diese um die Axe gedreht, so wird auch nach der Drehung die Schnittlinie  $\delta\delta$  dieser Ebene und der Ebene der Zeichnung parallel der Axe und also auch parallel der Linie  $dd$  bleiben müssen. Denn wenn eine Ebene durch eine gerade Linie (Rotationsaxe) geht, welche einer andern Ebene (der Ebene der Zeichnung) parallel ist, so ist auch die Schnittlinie beider Ebenen der genannten Linie (Rotationsaxe) parallel.

Wir können also das Bewegungsgesetz parallel gerichteter normalsichtiger Augen folgendermassen aussprechen: Wenn die Blicklinie aus ihrer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere Stellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten Stellung eine solche, als wäre er um eine feste Axe gedreht worden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie senkrecht steht.

Dieses Gesetz der Augenbewegungen ist in dieser Weise zuerst von LISTING aufgestellt worden und wird deshalb nach ihm benannt.

Es ist dabei nicht nöthig, daß die Bewegung des Blicks aus der ersten in die zweite Richtung wirklich längs einer geraden Linie vor sich geht, oder daß der Augapfel wirklich um eine constant bleibende Rotationsaxe gedreht wird, sondern die Ueberführung aus der ersten in die zweite Stellung 467 kann auf beliebigem Wege geschehen; nach dem Gesetze von DONDERS wird die endliche Stellung doch immer die gleiche sein, und die Richtigkeit von diesem DONDERS'schen Gesetze läßt sich wiederum in der Art erweisen, daß man die Ueberführung des Blicks absichtlich auf verschiedenen Wegen vornimmt und sich durch die Congruenz des Nachbildes  $\gamma\gamma$  mit der Linie  $op$  von der Identität der schliesslich eingetretenen Raddrehung des Auges überzeugt.

Doch ist dabei allerdings zu bemerken, daß im ersten Augenblicke, wo die Blicklinie nach ausgiebigen Bewegungen an dem neu gewählten Fixations-



Ebene, welche den Winkel der Ebenen  $AA$  und  $CC$  halbiert, die also die Ebene der Zeichnung rechtwinklig in der Linie  $HH$  schneidet. Es ist dies die Ebene der Drehungsaxen für die betreffende Secundärstellung der Blicklinie  $OF$ .

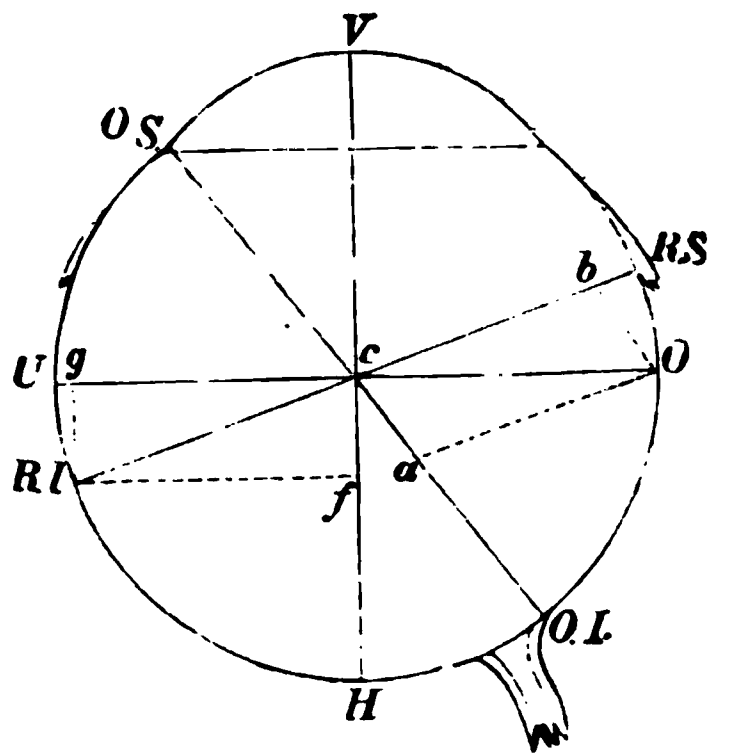
Endlich um von irgend einer Stellung  $a$  des Augapfels in eine andere Stellung  $b$  überzugehen, construirt man die Ebenen der Drehungsaxen für die beiden Stellungen  $a$  und  $b$ . Die Schnittlinie beider Ebenen ist die Axe, um welche man das Auge zu drehen hat, um es von  $a$  nach  $b$  überzuführen. Denn es ist evident, daß diese Axe beiden Ebenen angehören muß, da man dieselbe Bewegung auch von  $b$  nach  $a$  machen kann, und die betreffende Drehungsaxe sowohl den Bedingungen der von  $a$  als der von  $b$  ausgehenden Bewegungen genügen muß, d. h. in den beiden Blickpunkten zugehörigen Ebenen der Drehungsaxen liegen muß.

Bei den bisher geprüften normalsichtigen oder schwach kurzsichtigen Augen bewährte sich die Richtigkeit des LISTING'schen Gesetzes mit großer Genauigkeit für alle parallelen Stellungen beider Blicklinien. Die Methode der Nachbilder erlaubt bei guter Ausführung die Stellung des Augapfels bis auf etwa einen halben Winkelgrad genau zu bestimmen. Eine andere Methode, welche auf der Vergleichung der Bilder beider Augen beruht, und die zuerst von MEISSNER angewendet und später von VOLKMANN weiter ausgebildet ist, erlaubt noch genauere Bestimmungen bis auf etwa  $\frac{1}{10}$  Grad herab zwar nicht für die Stellung jedes einzelnen Augapfels, aber doch für die Differenzen der Stellung beider Augen. Versuche nach dieser Methode, deren Ausführung unten näher beschrieben wird, zeigen für meine eigenen Augen in den äußersten peripherischen Stellungen nach oben und unten Abweichungen vom LISTING'schen Gesetz, die für jedes einzelne Auge nur neun Winkelminuten betragen. VOLKMANN fand für seine etwas kurzsichtigeren Augen Maximalabweichungen beim Blick schräg nach unten rechts und links bis zu 54 Minuten für beide Augen zusammen, was auf jedes einzelne etwa 27 Minuten ausmacht. Stärker kurzsichtige Augen, wie die von Hrn. Dr. BERTHOLD zeigten aber stärkere Abweichungen namentlich in den peripherischen Stellungen nach oben und unten, die wahrscheinlich mit mechanischen Hindernissen in der Bewegung des nach hinten verlängerten kurzsichtigen Augapfels zusammenhängen werden.

Die bisherigen Angaben beziehen sich auf parallele Stellungen beider Blicklinien. Merkliche Abweichungen davon, bei verschiedenen Individuen von verschiedener Größe, treten nun nach der Entdeckung von VOLKMANN ein, wenn die Blicklinien convergent gestellt werden zur Betrachtung eines nahen Gegenstandes. Bei VOLKMANN's eigenen Augen bringt Convergenz auf die Punkte einer in 30 Centimeter vor den Augen liegenden Ebene eine gleichmäßige Vermehrung der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen von zwei Grad hervor, wenn man sie vergleicht mit der Divergenz, 469 welche die genannten Meridiane nach dem LISTING'schen Gesetze hätten haben sollen, unter Voraussetzung derselben Divergenz und derselben Primärlage, welche bei parallelen Augenstellungen gefunden waren. So weit also



haben. Wie oben (S. 43) schon bemerkt ist, drehen der innere und äussere gerade Augenmuskel, für sich wirkend, das Auge um eine verticale Axe; die Axe für die Drehung durch den unteren und oberen geraden Muskel liegt nach den Bestimmungen von RUETE horizontal, mit dem inneren Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa  $70^\circ$  mit der Blicklinie; die Axe für den oberen und unteren schiefen Muskel liegt ebenfalls horizontal, das äussere Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa  $35^\circ$  mit der Blicklinie. Drehungen um die verticale Axe des inneren und äusseren geraden Muskels entsprechen dem Gesetze von LISTING, diese Muskeln können also auch isolirt angewendet werden. Dagegen würden Drehungen um die beiden andern Axen dem LISTING'schen Gesetze nicht entsprechen. Um für eine Bewegung nach oben eine horizontal von rechts nach links gerichtete Drehungsaxe zu erhalten, muß man eine Drehung durch den *Rectus superior* mit einer durch den *Obliquus inferior* verbinden; für eine Drehung nach unten den *Rectus inferior* mit dem *Obliquus superior*. Es ist ein bekanntes mechanisches Gesetz, daß man für kleine Drehungen die Drehungsaxen nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zusammensetzen kann, wobei die Gröfse der Drehung die Intensität der Kraft repräsentirt, und alle Drehungen, die vom Mittelpunkt aus gesehen nach rechts herum (wie der Zeiger einer Uhr) vor sich gehen, also positiv, die entgegengesetzten als negativ gerechnet werden. In Fig. 204 ist ein horizontaler Querschnitt des Auges gezeichnet mit den Drehungsaxen, wobei die positiv zu rechnenden Enden der Axen mit den Anfangsbuchstaben der betreffenden Muskeln, *Obliquus superior* und *inferior*, *Rectus superior* und *inferior* bezeichnet sind. Außerdem ist die nach dem LISTING'schen Gesetze geforderte Horizontalaxe *OU* für die Bewegungen nach oben und unten angegeben; der Buchstabe *O* bezeichnet das positive Ende der Axe für die Drehung nach oben, *U* für die nach unten. Die Zeichnung entspricht dem linken Auge von oben gesehen, oder dem rechten von unten.



**Fig. 204.**

Wenn nun das Linienstück  $cb$  der Grösse der Drehung durch den *Rectus superior* proportional ist,  $ca$  der durch den *Obliquus inferior*, so bezeichnet  $cO$ , als Diagonale des Parallelogramms  $cbOa$  die Drehung der gemeinsamen Drehungsaxe und ist der Grösse dieser Drehung proportional. Es erhellt aus dieser Figur, daß bei derjenigen Lage, welche die Axen bei geradeaus gerichtetem Auge haben, die resultirende Drehungsaxe  $UO$  der Axe der betreffenden beiden geraden Augenmuskeln näher liegt, als derjenigen der schiefen Muskeln. Dadurch wird denn die Seite  $bc$  des Parallelogramms gröfser als  $ca$ , das heifst der betreffende gerade Muskel mufs eine stärkere



von der Augenstellung abhängig ist. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen des normalen Sehens richten wir immer beide Blicklinien auf einen im Raume vor uns liegenden reellen Punct, welcher nah oder weit entfernt sein kann. In diesem Punkte, dem Blickpunkte, schneiden sich beide Blicklinien. Trotzdem jedes Auge einen ganz selbständigen Muskelmechanismus hat, und also die Möglichkeit besitzt, jede Art der Bewegung ganz unab- 472 hängig von dem anderen Auge auszuführen, so haben wir doch nur gelernt, diejenigen Bewegungen wirklich auszuführen, welche nöthig sind, um einen reellen Punkt deutlich und einfach mit beiden Augen zu sehen. So können also beide Augen gleichzeitig gehoben werden, um einen hoch gelegenen Blickpunkt zu fixiren; sie können auch beide gleichzeitig gesenkt werden, um ein tief gelegenes Object anzublicken. Wir sind aber ohne weitere Hilfsmittel nicht im Stande, willkürlich das eine nach oben, das andere nach unten zu richten, wobei sich die Blicklinien in keinem reellen Blickpunkt schneiden würden.

Wir können ferner beide Blicklinien nach rechts oder beide nach links wenden, um beziehlich einen rechts oder links gelegenen Gegenstand zu betrachten. Wir können sie auch convergent machen, indem wir die rechte nach links, die linke nach rechts wenden, wenn wir einen nahen Fixationspunkt wählen. Aber Jemand, der sich nicht schon besonders darauf eingeübt hat, kann die Blicklinien nicht divergent machen, indem er die rechte nach rechts, die linke nach links wendet.

Endlich folgt auch bei normalen Augen die Accommodation immer der Entfernung desjenigen Gegenstandes, auf welchen die Blicklinien convergiren. Bei parallelen Blicklinien sind die Augen für unendliche Ferne eingerichtet, bei convergirenden für die Nähe, und sind desto stärker accommodirt, je stärker die Convergenz ist. Kurzsichtige Augen sind dagegen für ihren Fernpunkt accommodirt, so lange die Blicklinien auf ihn oder auf einen noch entfernteren Punkt convergiren. Für nähere Blickpunkte folgt die Accommodation der Convergenz. Sehr kurzsichtige Augen können aber ohne Brille oft gar nicht mehr binocular fixiren und accommodiren.

Obgleich nun der Zwang, beide Augen übereinstimmend zu bewegen und auch die Accommodation damit in Uebereinstimmung zu bringen, beim normalen Sehen so unausweichlich erscheint, daß ältere Physiologen diese Bewegungen in die Klasse der unwillkürlich eintretenden Mitbewegungen rechneten, so läßt sich doch zeigen, daß die Gesetzmäßigkeit dieser Verbindungen nur auf Einübung beruht. Man muß dabei im Allgemeinen beachten<sup>1</sup>, daß die Intention unseres Willens bei allen willkürlichen Bewegungen sich immer nur auf die Erreichung eines direct und deutlich wahrnehmbaren äußeren Erfolges bezieht. Bei den Bewegungen unserer Extremitäten können wir allerdings durch den Gesichtssinn die Stellung wahrnehmen, in welche das Glied durch eine gewisse Willensaction versetzt

<sup>1</sup> S. oben § 26. S. 587.





Augen auszuführen, welchen kein solcher Zweck des möglichst deutlichen Sehens zu Grunde liegt, auf den unser Willen sich richten könnte, haben wir nicht gelernt.

Es scheint mir damit zusammenzuhängen, daß wir leichter parallele, ja selbst divergente Stellungen der Blicklinien hervorbringen beim Sehen nach oben, wo sich der Horizont und der Himmel darzubieten pflegt, convergente leichter beim Sehen nach unten, wo der Fußboden und die Objecte, welche man in den Händen hält, zu betrachten sind.

Indem man aber nun die Art der Willensanstrengung kennen lernt, welche für Erreichung der verschiedenen Augenstellungen als solcher dient, kann Jemand, der viel physiologisch-optische Versuche anstellt, allmählig auch lernen, zunächst solche normale Augenstellungen hervorzubringen, für welche zur Zeit kein Fixationsobject vorhanden ist, indem man gleichsam nach einem 474 imaginären Fixationsobjecte blickt. Wenn man sich also zum Beispiel nahe vor dem Nasenrücken ein solches Object vorstellt, oder gleichsam nachsucht, ob keines dort vorhanden sei, kann man so starke Convergenz hervorbringen, daß die Augen wie die eines Schielenden aussehen. Und umgekehrt kann man nahe Gegenstände mit parallelen Gesichtslinien betrachten, wenn man durch sie hin in die Ferne zu sehen sucht, oder wenn man, wie das Volk sagt, nach ihnen hingewendet „in das Blaue stiert“, das heißt die Art von Blick annimmt, welche einzutreten pflegt, wenn man in Gedanken versunken gar nicht auf die Gegenstände achtet, die man vor sich hat, wobei denn die Accommodationsanstrengung nachläßt, ebenso die entsprechende Convergenzstellung, und die Augen ihre Fernstellung annehmen.

Geht man von Convergenzstellungen zur parallelen Stellung der Blicklinien über, ohne ein bestimmtes einzelnes Object zu fixiren, und übertreibt man die zu diesem Uebergange nöthige Anstrengung, so bringt man auch schwache Divergenzstellungen heraus.

Die Fähigkeit, jeder Zeit und ohne entsprechendes Object Convergenzstellungen und Parallelstellungen der Blicklinien hervorbringen zu können, ist für Jeden, der sich mit physiologisch-optischen Untersuchungen beschäftigen will, von großer Wichtigkeit, und muß geübt werden.

Dann aber kann man nun auch, freilich zunächst nur in geringerem Grade, diejenigen Combinationen von Augenstellungen hervorbringen, welche beim gewöhnlichen Sehen nicht vorkommen. Um es zu thun, braucht man nur die Augen unter solche Bedingungen zu versetzen, daß nur durch Abweichung von den normalen Stellungen einfache und deutliche Bilder herzustellen sind.

Was zunächst die Verbindung zwischen Convergenz und Accommodation betrifft, so wird diese sogleich verändert, wenn man eine Brille aufsetzt. Normalsichtige Augen zum Beispiel, welche eine Brille mit schwachen Concavgläsern vorsetzen, sind gezwungen, um entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, bei parallel gerichteten Blicklinien doch für die Nähe zu accommodiren. Ist die Brille nicht zu stark, so ist es auch sogleich möglich, die Augen

dieser neuen Aufgabe anzupassen, obgleich die Augen dabei das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung haben und bald ermüden. Daher denn überhaupt der Gebrauch einer Brille in der ersten Zeit, wo man sie zu tragen beginnt, immer mit einer merklichen Anstrengung verbunden ist, und umgekehrt Leute, die lange Zeit eine Brille getragen haben, wenn sie sie abnehmen, einen angestregten und gleichsam scheuen Blick zeigen, selbst für solche Gegenstände, für welche sie accommodiren können. Es ist dies eine allgemeine Erfahrung, daß wir gut eingeübte Gruppenbewegungen mit viel geringerer Anstrengung ausführen, als ungeübte. Man denke daran, welche Anstrengung ein ungeübter Schwimmer oder ein ungeübter Schlittschuhläufer aufwenden, um fort zu kommen, und wie leicht dasselbe nachher geht, wenn sie sich geübt haben. Gerade dasselbe geschieht bei den Augen, wenn wir ihre Bewegungen in ungewöhnlicher Weise combiniren sollen.

475 Eine veränderte Verbindung von Convergenz und Accommodation kann man auch erreichen, wenn man stereoskopische Bilder betrachtet und deren Entfernung von einander willkürlich verändert. Davon werden wir unten ausführlicher handeln.

Divergenz der Augen läßt sich ebenfalls bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder erzielen, wenn man sie immer weiter von einander entfernt und dabei ihre Vereinigung zu einem Bilde zu erhalten sucht. Ich kann auf diese Weise eine Divergenz meiner Blicklinien bis zu 8 Grad hervorbringen. Dasselbe läßt sich auch erreichen, wenn man zwei gleiche schwach brechende Glasprismen von 6 bis 8 Grad brechendem Winkel so vor beide Augen nimmt, daß die brechenden Winkel (die dünnsten Stellen der Prismen) nach unten sehen, und durch sie nach entfernten Gegenständen blickt. Dazu braucht man bei der angegebenen Haltung der Prismen parallele Gesichtslinien, die aber etwas mehr nach unten gerichtet sind, als ohne die Prismen. Wenn man nun die Prismen langsam dreht, so daß ihre brechenden Winkel sich beide nach außen zu wenden anfangen, so kann man doch noch die vorher gesehenen Gegenstände fortfahren zu fixiren und einfach zu sehen. Man muß dazu aber jetzt die Augen divergent stellen. Man kann dasselbe auch mit einem Prisma erreichen, wenn man dasselbe mit dem brechenden Winkel nach außen vor ein Auge hält, und zuerst nahe Gegenstände betrachtet, welche unter diesen Umständen noch convergente oder parallele Blicklinien erfordern, und dann allmählig zu entfernteren Objecten übergeht, welche Divergenz verlangen.

Endlich haben sowohl DONDERS als ich selbst beobachtet, daß man verschiedene Erhebung beider Augen erzielen kann, wenn man ein schwach brechendes Prisma vor ein Auge nimmt, und den brechenden Winkel zuerst nach innen richtet. Blickt man so nach entfernten Gegenständen, so muß man die Gesichtslinien etwas convergent stellen, was ohne Schwierigkeit zu erreichen ist. Jetzt drehe man das Prisma ganz langsam so, daß der brechende Winkel allmählig immer weiter nach unten rückt, und suche die Fixation des Objects zu erhalten. Es gelingt dies nach einiger Uebung. In

diesem Falle sieht das freie Auge den Gegenstand direct mit gerade auf ihn hingerichteter Blicklinie; das vom Prisma bedeckte Auge dagegen muß sich merklich nach unten wenden, um den Gegenstand zu fixiren. Hat man eine solche Stellung der Augen erreicht, so nehme man das Prisma plötzlich fort, man sieht dann das fixirte Object in unter einander stehenden Doppelbildern zum Zeichen, daß die beiden Blicklinien nicht gleich hoch gerichtet sind. Auch in der Richtung von oben nach unten bringe ich Abweichungen von 6° ohne Schwierigkeit zu Stande.

Aus diesen Thatsachen geht zweifellos hervor, daß die Verbindung, welche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht durch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern vielmehr durch den bloßen Einfluß unseres Willens veränderlich ist, und daß wir nur in der Bildung unserer Willensintentionen beschränkt sind, insofern diese nur zu dem Zweck, einfach und deutlich zu sehen, von uns eingeübt sind.

Ich habe schon früher auf andere Erfahrungen aufmerksam gemacht, die dasselbe beweisen, und mir auch von andern Beobachtern bestätigt worden sind. Wären die Augenbewegungen mittels eines anatomisch vorgebildeten Mechanismus coordinirt, so wäre zu erwarten, daß dieser desto 476 widerstandsloser wirken würde im Zustande der Schläfrigkeit, wo die Energie des Willens gebrochen ist. Ich beobachte indessen regelmäßig, daß wenn ich Abends beim Lesen schläfrig werde, oder nach einem langen Diner aus Rücksicht auf die Gesellschaft meine Augen offen zu halten strebe, ich Doppelbilder der vor mir liegenden Objecte sehe, welche bald nur zu große Divergenz, bald verschiedene Höhe, bald abnorme Raddrehungen der Augen anzeigen. So wie ich durch dergleichen ungewöhnliche Doppelbilder aufmerksam gemacht mich ermuntere, gehen die Doppelbilder meist schnell wieder zusammen, und wenn ich sie dann willkürlich auseinander zu treiben suche, kommen nur die gewöhnlichen neben einander stehenden Doppelbilder zu Stande, die von zu großer oder zu geringer Convergenz für das Object herrühren.<sup>1</sup>

Dieselbe Art von Zwang nun, welche die Bewegungen beider Augen mit einander und mit der beiderseitigen Accommodation verbindet, besteht auch betreffs der Raddrehung, die zu einer bestimmten Lage des Gesichtspunktes gehört, und es war von vorn herein zu vermuthen, daß auch die Raddrehung nur deshalb unserm Willen entzogen sei, weil wir durch eine etwaige Veränderung derselben keinen bestimmten praktischen und wahrnehmbaren Erfolg erzielen können. Es ist mir jetzt gelungen, die Richtigkeit dieser Annahme direct zu erweisen. Man kann nämlich auch die Raddrehung

<sup>1</sup> Herr E. HERING hat in seinen Beiträgen zur Physiologie, 4. Heft, S. 274, die Richtigkeit dieser Beobachtung bezweifelt. Er hat offenbar die Erscheinung, auf die es ankommt, nicht gesehen. Die zuletzt oben angeführte Beobachtung beweist, daß ich nicht in den Irrthum verfallen bin, den er mir zuschreibt, und der von Jemandem, welcher auch nur ein wenig Uebung in der Beobachtung von Doppelbildern hat, schwerlich begangen werden kann, daß ich nämlich wegen schiefer Kopfhaltung neben einander stehende Bilder für über einander stehend gehalten hätte.



gedreht werden, ohne daß die scheinbare Lage der dadurch gesehenen Gegenstände eine Veränderung erlitte.

Wenn man nun eine solche Combination zweier Prismen, welche eine scheinbare Raddrehung der Objecte um die Gesichtslinie von etwa 5 Grad hervorbringt, vor ein Auge nimmt und mit beiden Augen gleichzeitig entferntere Objecte betrachtet, die eine große Mannigfaltigkeit verschiedener deutlich erkennbarer Theile zeigen, so sieht man anfangs, wie zu erwarten ist, gekreuzte Doppelbilder<sup>1</sup> der Objecte, die sehr auffallend und leicht zu bemerken sind. Wenn man aber fortfährt, die Objecte zu betrachten, und dabei den Blick vielfach über die einzelnen ausgezeichneten Punkte derselben herumwandern läßt, welche man alle nach einander einfach sehen kann, so schwinden die Doppelbilder endlich, und man sieht vollständig einfache Bilder gerade so gut, wie beim gewöhnlichen Sehen. Wenn man nun einige Minuten lang in dieser Weise einfach gesehen hat, dann das Prismensystem fortnimmt und mit freien Augen dieselbe Objecte betrachtet, so erblickt man jetzt im ersten Moment gekreuzte Doppelbilder, die sich aber schnell wieder vereinigen.

Den Verdacht, daß bei diesem Versuche die Doppelbilder nicht vereinigt, sondern nur übersehen werden, kann man erstlich dadurch beseitigen, daß man in einiger Entfernung vor die betrachteten Objecte ein senkrechtes Stäbchen hält, welches in Doppelbildern erscheint. Diese haben dann nur die gewöhnliche schwache Neigung zu einander, die Neigung der scheinbar 478 verticalen Meridiane. Daraus folgt also, daß die horizontalen Netzhautmeridiane hinter den Prismen so eingestellt werden, daß sie entsprechende gleiche Bilder empfangen.

Ferner habe ich auch zur Controlle, während ich durch die Prismen sah, Nachbilder eines horizontalen Streifens in beiden Augen entwickelt, und diese, nachdem ich die Prismen entfernt hatte, auf eine weiße Fläche geworfen. Im ersten Augenblicke erschienen dann die Nachbilder beider Augen verschieden geneigt gegen ein und dieselbe objective Linie des Gesichtsfeldes. Sobald aber die Augen in ihre natürliche Stellung zurückgegangen waren, erschienen beide Nachbilder in gleicher Lage im Gesichtsfelde. War die objective Linie, von der die Nachbilder genommen wurden, horizontal, und das rechte Auge mit einem Doppelprisma bewaffnet, welches 5° nach links drehte, so erschienen die Nachbilder beider Augen, nachdem die Prismen entfernt und beide Augen in ihre normale Stellung übergegangen waren, etwas nach links gedreht, woraus folgte, daß beim Sehen durch das Prisma das linke Auge etwas nach rechts gedreht gewesen war, während das rechte Auge, der scheinbaren Drehung des Gesichtsfelds folgend, nach links gedreht war. Die Nachbilder beider Augen aber zeigten sich hierbei auf correspondirenden Stellen entwickelt, und daraus folgt, daß auch correspondirende Stellen beider Netzhäute das Urbild aufgenommen hatten. Aus diesen

---

<sup>1</sup> Ich verstehe hier unter gekreuzten Doppelbildern solche, die eine Raddrehung gegen einander erlitten haben.



Augenbewegungen darauf hinwirken können, daß nur gewisse bestimmte Raddrehungen mit den verschiedenen Richtungen beider Gesichtslinien verbunden werden.

Was zuerst das Gesetz von DONDERS betrifft, wonach der Raddrehungswinkel nur abhängt von der zeitweiligen Richtung beider Gesichtslinien, so ist leicht einzusehen, daß die Einhaltung dieses Gesetzes eine wesentliche Erleichterung und Sicherung für die Lösung der Aufgabe gewähren muß, trotz der Augenbewegungen und trotz der Verschiebungen der Netzhautbilder, auf der Netzhaut ruhende Objecte als ruhend anzuerkennen. Wir lassen unseren Blick fortdauernd im Gesichtsfelde wandern, weil wir nur so nach einander die einzelnen Theile des Gesichtsfeldes möglichst deutlich sehen können. Daß wir sie mit beiden Augen möglichst deutlich sehen, wird zunächst dadurch erreicht, daß wir beide Gesichtslinien auf den zeitweilig betrachteten Punkt hinrichten und die Augen für ihn accommodiren. Dabei könnten die beiden Augen noch in beliebiger Weise um die Blicklinie als Axe gedreht werden, ohne daß wir aufhören würden, mit beiden Augen den betreffenden Punkt zu fixiren. Wenn wir nun in dieser Weise ein mit ruhenden Objecten angefülltes Gesichtsfeld vor uns haben, so wechseln mit der Wanderung des Blicks auch fortdauernd die Empfindungen in den einzelnen Nervenfasern der Netzhaut. Wenn wir zur Betrachtung eines schon früher fixirten Objectes *A* zurückkehren, und nun eine andere Raddrehung der Augen brauchen wollten, als das erste Mal, so würde zwar der Eindruck des fixirten Punktes auf die beiden Netzhautgruben derselbe sein wie früher, aber die Netzhautbilder der Nachbarschaft würden eine andere Lage auf der Netzhaut haben, die rings um die Netzhautgrube liegenden Nervenfasern würden ganz andere Lichteindrücke erhalten, als das erste Mal; und um zu constatiren, daß das Object trotz dieses veränderten Systems von Empfindungen doch dasselbe geblieben ist, müßten wir das Auge ganz in die alte Stellung 480 auch in Bezug auf die Raddrehung zurückführen, um zu prüfen, ob dann bei Herstellung der früheren Stellung auch der alte Eindruck wieder erhalten werde.

Da nun für das Erkennen der Objecte in der Regel beim natürlichen Sehen dadurch nichts gewonnen wird, daß wir sie mit veränderten Raddrehungen ansehen, und nur die Rückkehr in eine unverändert bleibende bestimmte Stellung nöthig ist, um das ruhende Object als ruhend wiederzuerkennen, so werden wir von Anfang an uns gewöhnen müssen, für bestimmte Richtungen der Gesichtslinien auch immer wieder bestimmte Grade der Raddrehung zu gebrauchen.

Bei hinreichender Einübung auf die Kenntniß der Veränderungen, welche die Empfindungen der Netzhaut bei Drehung des Auges um die Blicklinie erleiden, würde es zweifelsohne auch möglich werden, die unveränderte Lage der Objecte trotz des veränderten Netzhautbildes richtig zu beurtheilen. Aber es würde dies eine neue und große Complication in der Einübung unseres Auges für die Gesichtswahrnehmungen sein, welche gar keinen





während wir  $B$  fixiren, lernen, daß die beobachtete Aenderung keine Aenderung der Objecte ist.

Damit nun jedes Mal, wenn die Fixation übergeht auf den dem Netzhautpunkte  $b$  correspondirenden Punkt des Gesichtsfeldes, auch gleichzeitig  $\alpha$  das bisherige Bild von  $a$ ,  $\gamma$  das von  $c$ ,  $\delta$  das von  $d$  u. s. w. empfangen, ist es nöthig, daß das Auge diese Bewegung immer durch Drehung um eine und dieselbe, in Beziehung zum Augapfel festgelegene Axe ausführe, welche wir mit  $\mathfrak{B}$  bezeichnen wollen.

Nun ist  $b$  nur einer der dem Punkte  $a$  benachbarten Netzhautpunkte; es möge  $c$  ein anderer von  $a$  unendlich wenig entfernter und in anderer Richtung als  $b$  gelegener Punkt sein, so wird eine zweite im Augapfel festgelegene Drehungsaxe  $\mathfrak{C}$  existiren müssen, um den Blick in der Richtung  $ac$  zu verschieben, wenn diese Verschiebung immer mit der gleichen Verschiebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut, also mit demselben Systeme von Empfindungsänderungen begleitet sein soll.

Jeden anderen Punkt  $F$  des Gesichtsfeldes in der Nähe des Fixationspunktes  $A$  werden wir mit dem Blicke alsdann erreichen können durch eine Drehung von gewisser sehr kleiner GröÙe um die Axe  $\mathfrak{B}$  und durch eine zweite Drehung von gewisser sehr kleiner GröÙe um die Axe  $\mathfrak{C}$ . Da man nun bekanntlich bei unendlich kleinen Drehungen die Drehungsaxen nach dem Principe des Kräfteparallelogramms zusammensetzen kann, und die Diagonale der Axen  $\mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{C}$  immer in der durch  $\mathfrak{B}$  und  $\mathfrak{C}$  gelegten Ebene liegen muß, so folgt, daß das Auge sich beim Blicke nach  $F$  in dieselbe Stellung bringen läßt bei einer einfachen Drehung um eine einzige in der Ebene  $\mathfrak{B}\mathfrak{C}$  gelegene Drehungsaxe, wie bei der Drehung erst um  $\mathfrak{B}$ , dann um  $\mathfrak{C}$ . Und da es bei der Richtung des Blickes nach  $F$  nach dem Gesetze von DONDEES, welches wir eben zu begründen versucht haben, immer dieselbe Richtung haben muß, auf welchem Wege es auch dahin geführt sein mag, so folgt, daß der Uebergang des Blickes von  $A$  nach  $F$  oder irgend einem andern von  $A$  unendlich wenig entfernten Punkte auszuführen ist durch Drehung des Augapfels um eine Drehungsaxe, die immer in ein und derselben, relativ zum Augapfel fest liegenden Ebene  $\mathfrak{B}\mathfrak{C}$  gelegen ist. Dies würde die Bedingung dafür sein, daß jede unendlich kleine Verschiebung des Blicks in allen Fällen, wo sie eintritt, immer von einem constanten Systeme von 482 Aenderungen der Empfindung in den Sehnervenfasern begleitet ist, welches schließlic als der sinnliche Ausdruck der zu jener Verschiebung des Blicks gehörigen Augenbewegung kennen gelernt wird.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Herr E. HERRING hat auf S. 274—283 seiner Beiträge zur Physiologie diese Ableitung als unhaltbar zu erweisen gesucht. Das Mißverständniß des ersten Princip, welches oben erwähnt wurde, wobei er eine Nebensache zur Hauptsache gemacht hat, wirkt hier weiter. Er erklärt das zweite Princip für überflüssig neben dem ersten. Das ist es nicht. Denn das erste Princip bezweckt nur, daß ruhende Objecte als ruhend erkannt werden, so oft die Blicklinie in dieselbe Richtung zurückkehrt, das zweite, daß sie auch bei verschiedener Richtung der Blicklinie als ruhend erkannt werden. Herr HERRING zeigt weiter, daß wenn man das zweite Princip ohne das erste gebraucht, man Unsinn daraus ableiten kann. Ich habe aber das zweite Princip nie anders, denn als Ergänzung des ersten angewendet, auch ist es selbstverständlich, daß dies nicht geht. Ich hoffe in der oben gegebenen Darstellung meine Ideen genauer ausgedrückt und das genannte Mißverständniß beseitigt zu haben.



nach unten convexe Linie erscheinen, wenn das Gesicht mehr erhoben wird als früher und die Augen im Kopfe also gesenkt werden müssen, um nach den drei Sternen zu sehen. Der Grund dieser Täuschungen ist in den Raddrehungen des Auges zu suchen. Blickt man nach dem rechten Ende der Sternreihe, so sind bei gehobenem Blicke die Netzhauthorizonte gegen die Visirlinie so gedreht, daß ihre rechte Seite gehoben ist. Das rechte Ende der Sternreihe erscheint dann gesenkt; eben so das linke, wenn man nach dem links gelegenen Sterne blickt, die ganze Linie also als concav nach unten; umgekehrt bei kinnwärts gewendetem Blick.

Oder man vergleiche die Neigung, welche eine Reihe von Sternen, wie zum Beispiel die drei Sterne im Schwanz des großen Bären, gegen den Horizont zu haben scheinen, indem man das Gesicht so wendet, dass die Sterne bald mit nach rechts oben, bald mit nach links oben gehobenen Augen betrachtet werden. Man wird finden, daß bei ersterer Stellung das obere Ende dieser Sternreihe sich scheinbar mehr nach links, im zweiten Falle mehr nach rechts, also immer gegen die Medianebene des Kopfes hin, neigt.

Es handelt sich bei diesen Beispielen nicht um Bestimmung einer absoluten Richtung der Sternreihen im Raume, als senkrecht oder horizontal, da eine solche bei der unbestimmten Form des imaginären Himmelsgewölbes selbst nie eine ganz bestimmte sein kann. Es handelt sich nur darum die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung in der Richtung des angeschauten Bildes bei verschiedener Blickrichtung zu constatiren, und es zeigt sich bei diesen Versuchen, daß wir bei stark peripherischen Stellungen der Augen abweichende Urtheile über die Lage der Gesichtsobjecte im Gesichtsfelde oder auch über die Form des Gesichtsfeldes fällen. Da nun, wie gesagt, in einem ausgedehnten Felde solche Raddrehungen der Augen, die dergleichen Inconsequenzen hervorrufen, nicht ganz vermieden werden können, so kann nur gefordert werden, daß die Raddrehungen des Auges bei verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie so gewählt werden, daß die Summe aller Fehler in der Orientirung, die aus den Raddrehungen des Auges herfließen, möglichst klein werde.

Die vollkommene Erfüllung des zweiten Principis würde fordern, daß bei allen Stellungen der Blicklinie die Ebene der Drehungsaxen immer dieselbe Lage im Augapfel hätte. Es würde dann nie eine Componente der Drehung vorkommen, deren Axe die Normale zu jener Ebene der Drehungsaxen wäre, welche Normale ich die atrope Linie des Auges zu nennen vorgeschlagen habe. Jede Drehung um diese atrope Linie, deren Lage im Auge zunächst noch unbestimmt bleibt, würde als ein Fehler zu betrachten sein. Die Forderung des zweiten Principis würde also so formulirt werden können, daß die Summe dieser Fehlerquadrate für alle vorkommenden unendlich kleinen Bewegungen des Auges ein Minimum werde. Die Quadrate der Fehler müssen hier aus denselben 484 Gründen, wie bei den Fehlerausgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate genommen werden.







Seite des Kopfes tiefer zu stehen. Es sind dies also Drehungen derselben Art, wie sie das Auge ausführt, wenn auch mit gröfserer Freiheit veränderlich, als die des Auges.

Allgemeine geometrische Betrachtung der Drehungen. Man denke sich einen gewöhnlichen Erdglobus, der mit seiner Polaxe drehbar in einem messingenen Ringe befestigt ist; dieser Meridianring möge selbst in Einschnitten des hölzernen Gestells verschoben und endlich das Gestell auf einem horizontalen 487 Tische stehend gedreht werden können, wobei es sich um die Lothlinie als Axe dreht. Eine solche Befestigungsweise reicht hin, um den Globus in alle möglichen Lagen zu versetzen. Der Globus möge den Augapfel darstellen und die Pollinie möge der Blicklinie entsprechen.

Im Anfange möge die Pollinie senkrecht stehen, und der erste Meridian des Globus, der von Ferro, in der Ebene des Ringes stehen. Die verticalen Coordinaten (also der Blicklinie in ihrer Anfangsstellung parallel) nenne ich  $x$ , die Ebene des ersten Meridians und des Meridianringes sei die Ebene der  $xy$ , die  $y$  Axe also horizontal in der Ebene des Ringes und die  $z$  Axe senkrecht darauf. Alle diese Axen sollen durch den Mittelpunkt der Kugel gehen. Da es ganz willkürlich ist, wie wir im Auge die  $y$  und  $z$  Axe legen, so wollen wir annehmen, die atrope Linie liege in ihrer Anfangslage in der  $y$  Ebene. Es vereinfacht sich dadurch die Rechnung sehr merklich, ohne dafs die Allgemeinheit derselben beeinträchtigt wird. In dem Globus, der den Augapfel darstellen soll, würde also die atrope Linie irgend wo im Meridian von Ferro liegen.

Wir denken uns nun vier rechtwinkelige Coordinatensysteme, welche alle in der Anfangslage der Kugel mit einander zusammenfallen. Das erste derselben nennen wir  $xyz$ , es sei absolut fest im Raume. Das zweite nennen wir  $x_1y_1z_1$ , es sei beweglich zugleich mit dem Gestell des Globus und mit diesem Gestelle fest verbunden; das dritte nennen wir  $x_2y_2z_2$ , es sei fest verbunden mit dem messingenen Meridianringe; das vierte endlich nennen wir  $\xi v \zeta$ , es sei fest mit der Kugel verbunden.

Wenn das Gestell auf dem Tische gedreht wird, so verschiebt sich das Coordinatensystem der  $x_1y_1z_1$  gegen das der  $xyz$ ; da aber die  $x$  Axe Drehungsaxe ist, so bleibt die  $x_1$  Axe zusammenfallend mit der  $x$  Axe, und die  $y_1z_1$  Ebene mit der  $yz$  Ebene. Folglich ist auch nach der Drehung die Entfernung  $x_1$  eines jeden beliebigen Punktes von der  $y_1z_1$  Ebene ebenso grofs wie seine Entfernung  $x$  von der  $yz$  Ebene. Es sei in *Fig. 208* die Ebene des Papiers die Ebene der  $yz$  und  $y_1z_1$ ; es sei  $OA$  die Axe der  $y$ ,  $OH$  die der  $z$ ,  $OD$  die der  $y_1$ ,  $OE$  die der  $z_1$ ;  $C$  sei die Projection des Punktes, dessen Coordinaten gesucht werden. Man fälle von  $C$  die Lothe  $CA$ ,  $CB$ ,  $CD$ ,  $CE$  beziehlich auf die vier Coordinataxen, und endlich noch vom Punkte  $E$  die Lothe  $EG$  und  $EH$  auf  $OA$  und  $OB$ , deren Schnittpunkt wir mit  $K$  bezeichnen, so ist

$$\begin{aligned} OA = CB = y & & OD = CE = y_1 \\ OB = AC = z & & OE = CD = z_1. \end{aligned}$$

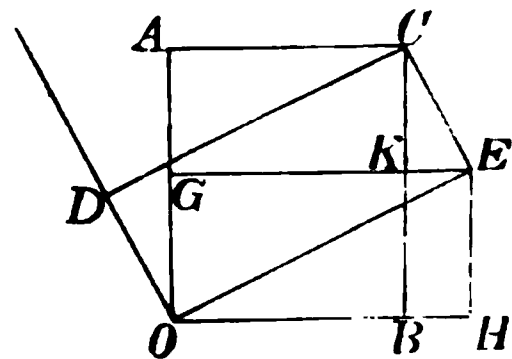


Fig. 208.

Den Winkel  $EOH$ , um den das System der  $x_1y_1z_1$  gegen das der  $xyz$  gedreht ist, nennen wir  $\vartheta$ .

$$y = OA = OG + GA = OG + KC.$$



Da nun der Winkel  $GE O = ECK = EOH = \vartheta$  ist, so ist

$$\begin{aligned} OG &= OE \sin (GE O) = z_1 \sin \vartheta \\ KC &= CE \cos (ECK) = y_1 \cos \vartheta, \end{aligned}$$

folglich

$$y = y_1 \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta$$

488 und ebenso

$$z = OB = OH - KE$$

$$\begin{aligned} OH &= OE \cos (EOH) = z_1 \cos \vartheta \\ KE &= EC \sin (ECK) = y_1 \sin \vartheta, \end{aligned}$$

also

$$z = z_1 \cos \vartheta - y_1 \sin \vartheta.$$

Wir haben also für die Coordinaten  $xyz$  des durch die  $x_1y_1z_1$  gegebenen Punktes nach der Drehung folgende Werthe:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1 \\ y &= y_1 \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta \\ z &= -y_1 \sin \vartheta + z_1 \cos \vartheta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1).$$

Wenn ferner der Messingring des Globus in dem Gestelle gedreht wird, so ändert sich die Lage des Systems der  $x_2y_2z_2$  gegen das der  $x_1y_1z_1$ , wobei die  $x_2y_2$  Ebene aber mit der  $x_1y_1$  Ebene in Congruenz bleibt, und also auch die  $z_2$  Axe mit der  $z_1$  Axe. Der Drehungswinkel sei  $\alpha$ , die Werthe der Coordinaten  $x_1y_1z_1$  findet man ausgedrückt in den Werthen der  $x_2y_2z_2$  ähnlich wie vorher

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha \\ y_1 &= x_2 \sin \alpha + y_2 \cos \alpha \\ z_1 &= z_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1a).$$

Endlich drehe man den Globus um seine Polaxe, dabei verschiebt sich das System der  $\xi v \zeta$  gegen das der  $x_2y_2z_2$ , während die  $\xi$  und die  $x_2$  Axe, als Drehungsaxe, congruent bleiben. Die Werthe der  $x_2y_2z_2$  sind, wenn der Drehungswinkel mit  $\omega$  bezeichnet wird,

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \xi \\ y_2 &= v \cos \omega + \zeta \sin \omega \\ z_2 &= -v \sin \omega + \zeta \cos \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1b).$$

Nun setze man die Werthe von  $x_1y_1z_1$  aus 1a) in die Gleichungen 1); man erhält

$$\begin{aligned} x &= x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha \\ y &= x_2 \sin \alpha \cos \vartheta + y_2 \cos \alpha \cos \vartheta + z_1 \sin \vartheta \\ z &= -x_2 \sin \alpha \sin \vartheta - y_2 \cos \alpha \sin \vartheta + z_2 \cos \vartheta. \end{aligned}$$

In diese Gleichungen endlich setze man für  $x_2y_2z_2$  deren Werthe aus den Gleichungen 1b). Man erhält

$$\left. \begin{aligned}
 x &= \xi \cos \alpha - v \cos \omega \sin \alpha - \zeta \sin \omega \sin \alpha \\
 y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos \vartheta \cos \omega - \sin \vartheta \sin \omega) \\
 &\quad + \zeta (\cos \alpha \cos \vartheta \sin \omega + \sin \vartheta \cos \omega) \\
 z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta - v (\cos \alpha \sin \vartheta \cos \omega + \cos \vartheta \sin \omega) \\
 &\quad - \zeta (\cos \alpha \sin \vartheta \sin \omega - \cos \vartheta \cos \omega)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1c).$$

Dadurch sind die Raum-Coordinationen  $xyz$  jedes Punktes gegeben, der durch seine Coordinationen  $\xi v \zeta$  auf oder in der Kugel gegeben ist.

Bestimmen wir zunächst die Lage der Polaxe, welche der Blicklinie des Auges 489 entsprechen soll; sie ist die Axe der  $\xi$ , für ihre Punkte ist  $v = \zeta = 0$ . Daraus folgt dann für einen Punkt der Polaxe, welcher um  $\xi$  vom Drehpunkte entfernt ist

$$\begin{aligned}
 x &= \xi \cos \alpha \\
 y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta \\
 z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta.
 \end{aligned}$$

Der Winkel zwischen der Polaxe und ihrer Anfangsstellung ist also  $\alpha$ , und die Projection der Polaxe auf die Horizontalebene ist  $\xi \sin \alpha$ , welche mit der  $xy$  Ebene den Winkel  $\vartheta$  macht. Diese Projection ist nun aber die Schnittlinie einer durch die verticale  $x$  Axe und die Polaxe  $\xi$  gelegten Ebene mit der Horizontalebene. Übertragen wir diese Verhältnisse auf das Auge, so ist

$\alpha$  der Winkel zwischen der ersten und zweiten Lage der Blicklinie,

$\vartheta$  der Winkel, den eine durch die erste und zweite Lage gelegte Ebene mit der ursprünglichen  $xy$  Ebene bildet.

Durch beide Winkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben.

Um nun noch den Sinn des Winkels  $\omega$  für die Verhältnisse am Auge anschaulich zu machen, wollen wir fragen, wie muß der Winkel  $\omega$  gewählt werden, wenn sich das Auge nach dem Gesetze von LISTING bewegt, und die Anfangslage, wo die  $xyz$  mit den  $\xi v \zeta$  zusammenfallen, seine Primärlage ist. Dann müßte nach diesem Gesetze die neue Stellung die gleiche sein, als wäre das Auge durch Drehung um eine in der  $v\zeta$  und  $yz$  Ebene liegende Drehungsaxe in die neue Lage übergeführt worden. Da die Punkte der Drehungsaxe unveränderte Lage behalten, so muß für sie auch nach der Drehung

$$x = \xi \quad y = v \quad z = \zeta \dots\dots\dots 2)$$

sein. Durch diese drei Bedingungen können wir in allen Fällen die Lage der Drehungsaxe finden. Da der Forderung des LISTING'schen Gesetzes gemäß die Drehungsaxe in der  $v\zeta$  Ebene liegen, das heißt für ihre Punkte  $\xi = 0$  sein soll, so erhalten wir aus den Gleichungen 1c) nach Einsetzung dieser Werthe

$$0 = -v \cos \omega \sin \alpha - \zeta \sin \omega \sin \alpha$$

$$v = v (\cos \alpha \cos \vartheta \cos \omega - \sin \vartheta \sin \omega) + \zeta (\cos \alpha \cos \vartheta \sin \omega + \sin \vartheta \cos \omega)$$

$$\zeta = -v (\cos \alpha \sin \vartheta \cos \omega + \cos \vartheta \sin \omega) - \zeta (\cos \alpha \sin \vartheta \sin \omega - \cos \vartheta \cos \omega).$$

Aus der ersten Gleichung folgt:

$$v \cos \omega + \zeta \sin \omega = 0,$$

was erfüllt wird, wenn wir setzen

$$v = h \sin \omega, \quad \zeta = -h \cos \omega,$$

worin  $h$  eine willkürliche GröÙe bedeutet. Dadurch reduciren sich die beiden andern Gleichungen auf die Bedingungen

$$\sin \omega = -\sin \vartheta$$

$$-\cos \omega = -\cos \vartheta,$$

die zu erfüllen sind durch die Annahme

$$\omega = -\vartheta \dots\dots\dots 2a).$$

490 Dies ist also die Bedingung, daß die durch die Gleichungen 1c) gegebenen Drehungen dem LISTING'schen Gesetze folgen. Dann werden die Werthe  $x, y, z$

$$\left. \begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta) \\ &\quad + \zeta (1 - \cos \alpha) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta - v (\cos \alpha - 1) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ &\quad + \zeta (\cos \alpha \sin^2 \vartheta + \cos^2 \vartheta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 2b).$$

Zu bemerken ist noch, daß überhaupt, auch abgesehen von LISTING's Gesetz, die Summe  $\omega + \vartheta$  für sehr kleine Werthe von  $\alpha$  jedenfalls verschwindend klein werden muß, wenn nicht Verschiebungen der Blicklinie um unendlich kleine Werthe von  $\alpha$  endliche Lagenveränderungen des Auges ergeben sollen.

In den Gleichungen 2b) ist  $x$  die Entfernung des Punktes, dessen Coordinaten hier gegeben sind, von der  $yz$  Ebene;  $\xi$  ist die Entfernung desselben Punktes von der  $v\zeta$  Ebene. Beide sind positiv genommen, wenn sie vor der Vorderseite dieser Ebenen liegen. Setzt man nun

$$x = -\xi \quad \text{oder} \quad x + \xi = 0 \dots\dots\dots 2c),$$

so ist dies die Gleichung aller der Punkte, die gleichweit von der Vorderseite der Ebene  $x = 0$  und von der Hinterseite Ebene  $\xi = 0$  abstehen. Diese Eigenschaft kommt aber den Punkten derjenigen Ebene zu, welche den Winkel  $\vartheta$ , den die Ebenen  $x = 0$  und  $\xi = 0$  mit einander machen, halbiert. Die Gleichung 2c) ist also die Gleichung dieser Halbierungsebene. Diese Gleichung wird, wenn man den Werth von  $x$  aus 2b) entnimmt

$$0 = \xi (1 + \cos \alpha) - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \dots\dots\dots 2d).$$

Indem wir diese Gleichung mit dem Factor

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

multipliciren, erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha - v \cos \vartheta (1 - \cos \alpha) + \zeta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots 2e)$$

Multiplizieren wir diese letztere mit  $\cos \vartheta$ , so erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta - \cos^2 \vartheta) + \zeta \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha).$$

Bei der Vergleichung mit dem Werthe von  $y$  in 2b) zeigt sich, daß diese identisch ist mit

$$v = y.$$

Eine entsprechende Gleichung, welche man durch Multiplication von 2e) mit  $\sin \vartheta$  erhält, ist identisch mit

$$\zeta = z.$$

Für die Punkte der Halbirungsebene des Winkels  $\vartheta$ , den die Ebenen  $x = 0$  und  $\xi = 0$  mit einander machen, ist also

$$x = -\xi, \quad y = v, \quad z = \zeta \dots \dots \dots 2f).$$

Nehmen wir nun eine zweite Stellung des Bulbus, für die wir die Werthe von  $x, y, z, \alpha, \vartheta$  beziehlich mit  $x_0, y_0, z_0, \alpha_0, \vartheta_0$  bezeichnen, so ist für die Halbirungsebene des Winkels  $\vartheta_0$ , welchen die Ebenen  $x_0 = 0$  und  $\xi = 0$  mit einander machen, ebenfalls

$$x_0 = -\xi, \quad y_0 = v, \quad z_0 = \zeta.$$

Wenn also der Punkt  $\xi v \zeta$  gleichzeitig beiden Halbirungsebenen angehört, das heißt in deren Schnittlinie liegt, so ist für ihn

$$x = x_0, \quad y = y_0, \quad z = z_0.$$

Die Punkte der genannten Schnittlinie haben also dieselbe Lage im Raume bei der ersten wie bei der zweiten Stellung des Auges, und daraus folgt, daß, wenn man das Auge aus der ersten in die zweite Stellung durch Drehung um eine constante Axe überführen will, die genannte Schnittlinie der Halbirungsebenen dabei als Axe zu benutzen ist. Die Lage dieser Axe ist gegeben durch die Gleichung 2b) und die analoge Gleichung für die zweite Stellung

$$x + \xi = 0 \text{ und } x_0 + \xi = 0.$$

Der Winkel, durch den der Bulbus um die resultierende Drehungsaxe hierbei gedreht werden muß, um die erste Stellung in die zweite überzuführen, ist doppelt so groß, als der Winkel, unter dem sich die genannten beiden Halbirungsebenen  $x + \xi = 0$  und  $x_0 + \xi = 0$  gegenseitig schneiden.

Die hier gegebene Regel, nach welcher das Resultat zweier auf einander folgender Drehungen auf eine einzige Drehung reducirt wird, kann ganz unabhängig vom LISTING'schen Gesetze auf jeden Körper übertragen werden, der sich um einen Punkt dreht. Wenn ein solcher Körper nach einander um zwei verschiedene Axen gedreht wird, und man kennt die Lage beider Axen, die sie haben, während die Drehung um sie geschieht, oder, was dasselbe ist, die sie haben nach der ersten Drehung und vor der zweiten Drehung, so lege man durch beide Axen eine Ebene, welche  $A$  heißen mag, und construire die Lage dieser Ebene, welche sie hat vor der ersten Drehung,  $A_0$ , und diejenige, welche sie hat nach der zweiten Drehung,  $A_1$ . Da die Drehungsaxen die Schnittlinien von  $A_0$  und  $A$ ,



sind, da sie die Complementary der gleichen Winkel  $BOC$  und  $GOF$  sind. Daraus folgt weiter, daß, wenn  $OE$  irgend eine andere Axe in der durch  $OD$  gelegten Ebene der Drehungsaxen ist, auch der Winkel  $BOE$  und  $FOE$  gleich sein müssen.

Wenn man also den Bulbus um die Axe  $OE$  ganz herumdrehen könnte, würde die Linie  $OB$  auch in die Lage  $OF$  kommen müssen. Folglich müssen auch die Kreise, welche die Blicklinie, ausgehend von der Stellung  $OB$ , bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäß im kugeligen Blickfelde beschreibt, alle durch den Punkt  $F$  gehen. Die Lage des Punktes  $F$  ist aber ganz unabhängig von der Lage von  $OB$ , nur abhängig von der Primärstellung  $OA$ . Wir können ihn den Occipitalpunkt des Blickfeldes nennen. Daraus folgt:

Alle Kreisbögen, welche die Blicklinie bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäß im kugeligen Blickfelde beschreibt, gehen verlängert durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes.

Und umgekehrt:

Wenn die Blicklinie dem LISTING'schen Gesetze entsprechend einen Kreisbogen im kugeligen Blickfelde beschreibt, der durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes geht, so dreht sie sich dabei um eine festbleibende Axe, die senkrecht zur Ebene des betreffenden Kreises ist.

Wir wollen diese Kreise des kugeligen Blickfeldes, welche durch den Occipitalpunkt gehen, Directionskreise nennen. Ihre Wichtigkeit für die 493 Orientirung wird sich noch in den nächsten Abschnitten mehr zeigen. Die Directionskreise sind also größte Kreise des Blickfeldes nur, wenn sie durch die Primärstellung der Blicklinie gehen, deren Ort im Blickfelde wir den Hauptblickpunkt nennen können.

Es ergiebt sich ferner leicht, daß, wenn ein linienförmiges Nachbild im Auge entwickelt ist, welches sich in das Blickfeld auf einen Directionskreis der betreffenden Stellung der Blicklinie projicirt, und das Auge in Richtung dieses Directionskreises bewegt wird, das Nachbild seine scheinbare Lage in diesem Directionskreise behalten und sich nur in Richtung seiner eigenen Länge verschieben wird; und wenn ein Nachbild entwickelt ist, welches in dem Blickpunkt einen der betreffenden Directionskreise senkrecht schneidet, dass es bei der Bewegung des Blicks in diesem Directionskreise senkrecht zu demselben bleiben wird.

Endlich ist auch leicht einzusehen, daß das Nachbild congruiren wird mit der Richtung aller derjenigen Directionskreise, die im Occipitalpunkt die gleiche Tangente mit demjenigen haben, mit dem es zuerst congruirte.

Die Gleichung der Directionskreise, welche durch eine bestimmte Stellung der Blicklinie hindurchgehen, z. B. durch die in den Gleichungen 2b) gegebene, ergiebt sich leicht aus der Bedingung, daß sie durch eine Ebene, welche durch den Occipitalpunkt geht, aus dem kugelförmigen Blickfelde ausgeschnitten werden, dessen Mittelpunkt der Drehpunkt des Auges, der Anfangspunkt unserer Coordinaten ist. Es sei also die Gleichung des kugelförmig gedachten Blickfeldes

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \dots\dots\dots 3).$$

Die allgemeine Gleichung einer Ebene ist

$$ax + by + cz = A.$$



Setzen wir in 3 b) das  $x$  constant, so wird 3 b) die Gleichung einer Hyperbel, welche die Projection des Directionskreises auf die genannte Ebene ist. Sie ist

$$0 = (b^2 - a^2) y^2 + (c^2 - a^2) z^2 + 2bcyz + 2abxy + 2acxz \dots\dots\dots 3c).$$

In dieser allgemeinen Form giebt die Gleichung alle Hyperbeln, längs welcher irgend wie gerichtete linienförmige Nachbilder verschoben werden können.

Beschränken wir uns dagegen auf solche, welche ursprünglich einer bestimmten Richtung parallel waren, zum Beispiel der  $z$  Axe, so ist in der Gleichung des Directionskreises 3 a) die Constante  $c = 0$  zu setzen, und setzen wir ferner

$$a = -\sin \frac{\alpha}{2} \quad b = +\cos \frac{\alpha}{2}$$

so wird die Gleichung 3 c)

$$0 = y^2 \cos \alpha - z^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - xy \sin \alpha$$

oder

$$\cos \alpha \left( y - \frac{1}{2} x \operatorname{tg} \alpha \right)^2 - z^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4} x^2 \cos \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Setzt man

$$\frac{1}{2} x \operatorname{tang} \alpha = f$$

und

$$x \sqrt{\frac{\operatorname{tang} \alpha}{2 \operatorname{tang} \frac{\alpha}{2}}} = g,$$

495

so wird die Gleichung der Hyperbel

$$\frac{(y - f)^2}{f^2} - \frac{z^2}{g^2} = 1.$$

Es ist also  $f$  die reelle Axe,  $g$  die imaginäre, und der Mittelpunkt der Hyperbel um die Länge der reellen Axe von der Linie  $z = 0$  entfernt. Der eine Scheitel aller dieser Hyperbeln liegt in der  $x$  Axe, im Punkte  $z = 0$ ,  $y = 0$ , aber diejenigen Zweige der Hyperbeln, welche durch diesen Punkt gehen, sind keine optischen Projectionen des betreffenden Directionskreises. Sie sind vielmehr nur geometrische Projectionen der hinteren nicht sichtbaren Hälfte des Directionskreises. Hyperbeln dieser Art sind oben construirt in *Fig. 200*.

Es bleibt noch übrig, die Drehung zu bestimmen, welche nach dem LISTING'schen Gesetze das Auge in Beziehung auf die Visirebene erleidet. Es sei die Ebene  $\zeta = 0$  der Netzhauthorizont des Auges, und  $z = 0$  also seine Primärstellung und gleichzeitig die Primärstellung der Visirebene. Die  $y$  Axe ist dann die Linie, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Die Visirebene muß also immer durch die  $y$  Axe gehen. Die allgemeine Gleichung solcher Ebenen ist

$$ax + bz = 0.$$



Für die Blicklinie ist  $v = \zeta = 0$ , also nach 2 b)

$$x = \xi \cos \alpha, \quad y = \xi \sin \alpha \cos \vartheta, \quad z = -\xi \sin \alpha \sin \vartheta$$

und da die Blicklinie in der Visirebene liegen muß, folgt, daß diese Werthe von  $x$  und  $z$  der allgemeinen Gleichung der Visirebene genügen müssen, also

$$a \xi \cos \alpha - b \xi \sin \alpha \sin \vartheta = 0.$$

Dem genügen wir, wenn wir setzen

$$a = \sin \alpha \sin \vartheta, \quad b = \cos \alpha.$$

Die Gleichung der Visirebene wird also

$$x \sin \alpha \sin \vartheta + z \cos \alpha = 0$$

oder wenn wir die Werthe aus 2 b) einsetzen

$$0 = v \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) - \zeta (\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta) \dots\dots\dots 4).$$

Wenn die Gleichungen zweier Ebenen sind

$$ax + by + cz + d = 0$$

$$\alpha x + \beta y + \gamma z + \delta = 0,$$

so ist der Winkel  $k$ , den sie mit einander machen, bekanntlich

$$\cos k = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}.$$

496 Daraus folgt, daß der Winkel, den die Visirebene der Gleichung 4) mit dem Netzhaut-horizont macht, dessen Gleichung ist

$$0 = \zeta \dots\dots\dots 4a).$$

gegeben wird durch die Gleichung

$$\cos k = - \frac{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cdot \cos^2 \vartheta}{\sqrt{\sin^2 \vartheta + \cos^2 \alpha \cos^2 \vartheta}}$$

oder

$$\text{tang } k = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta} \dots\dots\dots 4b).$$

Der Winkel  $k$ , welcher zwischen der zeitigen Lage des Netzhauthorizonts und der Visirebene liegt, ist hierdurch gegeben.

Der Winkel  $k'$  zwischen der Ebene des ursprünglich senkrechten Meridians  $v = 0$  und einer durch die senkrechte  $z$  Axe und die Blicklinie gelegten Ebene

$$x \sin \alpha \cos \vartheta - y \cos \alpha = 0$$

wird in ähnlicher Weise gefunden

$$\cotg k' = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta \cos \alpha} \dots\dots\dots 4c).$$









Diese Beobachtungen, wobei das Nachbild auf eine verhältnismässig entfernte Wand geworfen wird, haben den Vorthail, dass kleine Verschiebungen des Kopfes nach rechts oder links, oben oder unten, einen verschwindend kleinen Einfluss auf die durch das Visirbrettchen gesicherte Lage der Blicklinie haben, und dass ferner die Augen von selbst in paralleler Stellung erhalten werden. Dagegen sind die Wände unserer Zimmer in der Regel nicht gross genug, um auch die Prüfung in den extremen Stellungen der Blicklinie bei hinreichend grosser Entfernung von der Wand vornehmen zu lassen, und für Kurzsichtige ist diese Beobachtungsart nicht zu gebrauchen, weil sie ohne Brille nicht für die Wand accommodiren können, und Brillengläser, wenn sie nicht centrisch und senkrecht zur Gesichtslinie stehen, die scheinbare Neigung der gesehenen Linien verändern können. Für Beobachtungen in der Nähe habe ich die von mir früher beschriebene Methode abgeändert, um auch den Einfluss der Convergenz sicherer untersuchen und die Grösse und Form des Gesichtsfeldes bestimmen zu können.

Als Gesichtsfeld dient eine an der Wand befestigte grosse hölzerne Tafel, die mit hellgrauem Papier glatt überzogen ist. Um die Stellung des Kopfes vor dieser sicher fixiren zu können, ist vor ihr in einer für die Accommodation des Beobachters passenden Entfernung ein kleines Tischchen aufgestellt und mit eisernen Klammern am Boden befestigt. Auf dem Tischchen ist ein eiserner Halter mit beweglichen Armen befestigt, wie man ihn in chemischen Laboratorien vielfach gebraucht, und dieser hält ein Brettchen ähnlich dem der *Fig. 210*, aber ohne die Säule und das Visirzeichen. Das Brettchen dient nur dazu, dem Kopfe des Beobachters, wenn er die Zähne darauf fest beisst, eine sichere Stellung der Tafel gegenüber zu geben. Mittels der Zähne kann die Stellung des Kopfes viel besser gesichert werden, als durch irgend welche Befestigung, welche nur die Weichtheile desselben unmittelbar unterstützt. Ein zweiter verstellbarer horizontaler Arm des Halters wird so festgeschraubt, dass die Stirn gegen ihn anliegt. Auf der Tafel wird dann, dem einen oder andern Auge gegenüber, ein passend gefärbter Streif aus sehr steifem Papier oder dünnem Holz befestigt, der in seiner Mitte mit einem Stechknöpfchen, und um dieses drehbar, befestigt wird. Den Streifen mache ich entweder halb weiss und halb schwarz, oder halb grün und halb roth, so dass die Trennungslinie beider Farben der Länge des Streifens parallel durch die Mitte seiner Breite hinläuft. Diese Trennungslinie giebt dann ein gut gezeichnetes Nachbild. Ferner werden feine schwarze Fäden horizontal und vertical über die Mitte des Streifens hingespant, und die Stellung des Zahn Brettchens so lange geändert, bis die Nachbilder des horizontalen Streifens längs des horizontalen Fadens verschoben diesem parallel bleiben, und ebenso die Nachbilder des vertical gestellten Streifens längs des verticalen Fadens. Dabei ist aber zu bemerken, dass die Gesichtslinien parallel gehalten werden müssen, und um dies zu controlliren, mache ich in der Entfernung meiner Augen von einander (68 Millimeter) Punkte auf den Stellen der Tafel, nach denen ich hinblicke, den einen dicht an der Linie, nach der ich hinblicke, den andern in gleicher Höhe seitwärts, so dass, wenn ich die beiden Punkte mit parallelen Gesichtslinien betrachte, sie sich scheinbar vereinigen.

Auf diese Weise kann man die Primärlage des einen oder andern Auges finden, — sie liegen bei mir um die Distanz der Augen selbst von einander entfernt, — dann kann man nachher dem Streifen, von dem das Nachbild genommen wird, beliebige schräge Richtungen geben, und Fäden über seine Mittellinie hinspannen, um längs dieser die Nachbilder zu verschieben. Um convergente Gesichtslinien zu haben, kann man, nachdem das Nachbild in einem Auge entwickelt ist, entweder einen Punkt der Tafel selbst mit beiden Augen fixiren, oder beliebige hingesezte Punkte mit convergenten oder überkreuzten Blicklinien zusammenfallen machen.

Wenn dann, wie bei Convergenzstellungen, die Nachbilder nicht genau mit dem Faden zusammenfallen, längs dessen Richtung man den Blick hinbewegt hat, so kann man den Streifen selbst schief gegen den Faden stellen, und diejenige Stellung desselben suchen, deren Nachbild dem betreffenden peripherischen Theile des Fadens parallel wird. Der Winkel zwischen dem Streifen und dem Faden lässt sich leicht berechnen, wenn



Boden die Stellungen bezeichnet, welche die Füße des Stuhles haben mußten, wenn seine vordere Kante bestimmte Neigungen gegen die Wand haben sollte. Bei allen diesen Stellungen des Stuhles blieb die Mitte zwischen den hinteren Füßen an demselben Platze. FICK saß auf diesem Stuhle, den Rücken angelehnt, den Kopf gerade aus gerichtet, und fand, daß er auf diese Weise genügend sicher die Medianebene des Kopfes senkrecht zu der anderen Kante des Stuhles einstellte. Um die Neigung des Kopfes gegen die Horizontale zu beurtheilen, wurde ein hölzerner über den Kopf gehender Bügel mittels zweier Schrauben in den Gehörgängen befestigt und ein von seiner Mitte herabgehender gebogener Eisenstab auf die Nasenwurzel gestützt. Der Bügel hatte somit eine feste Lage zum Kopfe. An der in das linke Ohr gehenden Schraube hing ein Loth, das vor einem mit dem Bügel fest verbundenen Gradbogen spielte. So konnte die Neigung des Kopfes oder einer in der Medianebene gedachten Geraden gegen den Horizont bestimmt werden.

An der Wand war ein Blatt grauen Cartons drehbar um einen Stift im Fixationspunkte befestigt. Mittels einer über eine Rolle laufenden Schnur konnte der Beobachtende den Carton drehen. Auf diesem war ein schwarzer Fleck gemalt, in einer solchen Entfernung, daß er bei passender Einstellung in den blinden Fleck fiel. Ein Gehülfe las die Neigung des Kopfes ab, und wenn eine bestimmte Neigung hergestellt war, stellte sich der Beobachter mittels der Schnur den Carton so, daß der schwarze Fleck verschwand. An einer Tangentenskala konnte die Drehung des Cartons abgelesen werden. So wurde bestimmt, um wie viel das Auge gegen seine Anfangsstellung gedreht war. Die Drehung des Stuhles maß den als *Longitudo* bezeichneten Winkel, der Gradbogen am Ohr die *Latitudo*. Es kamen bei Wiederholung der Versuche Differenzen der Raddrehungswinkel vor bis zu 3 Grad; wenn man die Stifte, die in die Ohren gesteckt waren, mit der Lehne des Stuhles fest verbande und einen recht hellen weißen Fleck auf dunklem Grunde gebrauchte, der der Projection des blinden Flecks an Gröfse und Gestalt genau entspräche, würde sich vielleicht eine gröfsere Genauigkeit dieser Methode erreichen lassen.

MEISSNER<sup>1</sup> hat den Kopf festgestellt und das Gesichtszeichen, auf welchem sich der dunkle Fleck befand, bewegt. Der Kopf wurde zu dem Ende passend so festgestellt, daß sich das Auge in dem Mittelpunkte eines verticalen halben Gradbogens von 10 Zoll Radius befand, der um seine verticale Axe um einen zu messenden Winkel gedreht werden konnte (FICK's *Longitudo*, MEISSNER's *Latitudo*). An dem Gradbogen verschieblich, um einen Winkel, der abgelesen werden konnte (FICK's *Latitudo*, MEISSNER's *Longitudo*), befand sich ein Schieber, der an seiner dem Centrum zugekehrten Seite, um eine eben dahin gerichtete Axe drehbar, die Scheibe mit dem dunklen Flecke trug. MEISSNER's Resultate sind in der hier folgenden Tabelle zusammengestellt; und zwar ist der unmittelbar abgelesene Winkel, der dem *k'* der Gleichung 4e) entspricht, angegeben.

		Nasenwärts				Schläfenwärts		
		+30°	+20°	+10°	0°	−10°	−20°	−30°
Gehoben	− 30°	− 3°	0°	+ 2°	0°	+ 3°	+ 6°	+10°
	− 15°	+ 0°,5	+ 1°,5	+ 2°,5	0°	+ 1°,5	+ 3°	+ 5°
	0°	+ 7°	+ 5°	+ 4°	0°	0°	0°	0°
	+ 15°	+12°,5	+ 8°,5	+ 5°	0°	− 1°,5	− 2°,5	− 5°
Gesenkt	+ 30°	+19°	+13°	+ 7°	0°	− 3°	− 6°	− 9°,5
	+ 35°	+20°,5	+14°	+ 7°,5	0°	− 3°	− 7°	−10°
	+ 40°	+20°,5	+14°	+ 7°	0°	− 3°	− 7°,5	−11°
	+ 45°	+21°	+14°,5	+ 7°	0°	− 3°	− 8°	−12°
	+ 50°	+21°,5	+14°,5	+ 7°	0°	− 3°	− 8°,5	−13°

<sup>1</sup> MEISSNER, Zeitschrift für rationelle Medizin. Reihe 3, Band VIII.









Primärstellung der Visirebene geschah, erschien mir der Faden doch nicht mehr geradlinig, sondern ich mußte die eine Hälfte desselben etwas senken, damit er wieder geradlinig erschien. Die der Convergenz auf 20 Centimeter entsprechende Drehung jedes meiner Augen würde hiernach 17 Minuten ( $0^{\circ},28$ ) betragen, während sie bei VOLKMANN  $1^{\circ},37$  betrug.

Bei VOLKMANN ist diese Drehung stark genug, daß er sie an dem Nachbilde einer gefärbten verticalen Linie wahrnehmen kann, welche er mit einem Auge bei parallelen Blicklinien fixirt hat, wenn er das Nachbild nachher mit convergenten Blicklinien dicht neben die Linie entwirft. Dasselbe gelang auch Prof. WELCKER bei VOLKMANN. Ganz ähnliche Versuche hatte übrigens auch J. B. SCHUURMAN<sup>1</sup> angestellt mit negativem Erfolge, während Prof. DONDERS bei angestrenzter Convergenz Drehungen von  $1^{\circ}$  bis  $3^{\circ}$  bemerkte, in demselben Sinne wie VOLKMANN und ich. Viel deutlichere Abweichungen, durch Convergenz bewirkt, bemerkte ich, wie schon oben gesagt ist, bei der Untersuchung der Nachbilder in peripherischen Stellungen der Blicklinie.

Bestimmungen der Ansatzpunkte und Drehungsaxen für die Augenmuskeln. Die Wirkung dieser Muskeln ergibt sich leicht aus ihrer Lage und Befestigung. Da ihre Sehnen alle eine Strecke über den Augapfel hin verlaufen und sich seiner Wölbung anlegen, wie Bänder, welche über eine Rolle laufen, so üben alle diese Muskeln einen Zug auf den Augapfel in tangentialer Richtung aus. Um die Richtung dieses Zuges genauer zu bestimmen, muß man durch den Punkt, wo sich die Sehne anlegt, eine Tangente an den Augapfel legen, welche für den oberen schiefen Augenmuskel nach dessen Sehnenrolle hin zu ziehen ist, für die übrigen Muskeln dagegen nach ihrem knöchernen Ursprunge hin.

Da der Augapfel in seiner natürlichen Befestigung nur Drehungen um seinen Mittelpunkt ausführt, so haben wir die Wirkung der Muskeln auch nur insofern zu beachten, als dadurch solche Drehungen entstehen. Wird ein Körper, der frei um einen Punkt drehbar ist, wie der Augapfel, durch eine Kraft excentrisch angegriffen, so findet man die Richtung der daraus entstehenden Drehung, wenn man durch die Richtung der Zugkraft und durch den Drehpunkt eine Ebene legt und im Drehpunkt auf dieser ein Loth errichtet. Dieses Loth ist die Axe der betreffenden Drehung. Die Richtung des Zuges ist, wie wir gesehen haben, bestimmt durch den Punkt, wo sich die Sehne an den Muskel legt, und den Punkt, wo der Muskel (oder beziehlich seine Sehnenrolle) am Knochen fest sitzt. Durch diese beiden Punkte und den Drehpunkt des Auges ist also jedesmal die Lage der zur Drehungsaxe normalen Ebene bestimmt. Wenn man also 525 die Lage jener drei Punkte geometrisch bestimmt, läßt sich daraus die Lage der Drehungsaxe finden.

Solche geometrische Bestimmungen sind von RUETE<sup>2</sup> und A. FICK gemacht worden. RUETE nahm zuerst die Schädeldecke durch einen Sägenschnitt nahe über der Orbita weg, stellte dann den Kopf so auf, daß er die Stellung hatte, die er im Leben bei aufrechter Stellung zu haben pflegt. Darauf wurde ein Sägenschnitt in der Mitte zwischen beiden Augenhöhlen perpendicular durch das *Os frontis*, durch die Mitte der *Crista galli*, der *Sella turcica* und den Rücken der Nase so tief heruntergeführt, daß er einen geraden, vorn überstehenden Draht fest einlegen konnte, in einer Richtung, die mit den gerade nach vorn und horizontal gewendeten Sehaxen parallel stand, um sich später nach dieser Linie orientiren zu können. Darauf wurden beide Augen bis zur normalen Spannung aufgeblasen, dann horizontal parallel gerichtet und durch jedes Auge ein feiner, sehr zugespitzter Stahldraht in der Richtung der optischen Axe bis hinten in den Knochen der Orbita langsam rotirend durchgestoßen, um die Augen in ihrer Lage zu fixiren. Um die Lage der Augen noch mehr zu sichern, wurde in einigen Fällen auch noch eine Decke von Gyps über die geschlossenen Augenlider gegossen.

Darauf wurden die Augenhöhlen vorsichtig von oben geöffnet und die Ursprünge

<sup>1</sup> J. B. SCHUURMANN, *Vergelykend Onderzoek der Beweging van het Oog*; *Academisch Proefschrift*. Utrecht 1863.

<sup>2</sup> RUETE, *Ein neues Ophthalmotrop*. Leipzig 1857.







benutzte diesen Gedanken von RUETE zu einer eingehenderen Prüfung des Gegenstandes. Er wies zunächst nach, wodurch HUECK bei seinen Beobachtungen getäuscht worden war; daß er nämlich nicht hinreichend darauf geachtet hatte, die Stellung des Auges im Kopfe unverändert zu erhalten, während er die Stellung des Kopfes selbst änderte, und daß die von ihm beobachteten Drehungen von dem ersteren, nicht vom letzteren Umstande abhingen. Er fand ferner, daß die Nachbilder verticaler Objecte bei rein horizontalen und rein verticalen Bewegungen der Augen parallel bleiben, aber bei schräg seitlich gerichteten Hebungen und Senkungen sich schräg stellen. Ein bestimmtes Gesetz für die Größe dieser Schiefstellung hat er nicht aufgestellt.

Ein solches Gesetz war indessen von LISTING<sup>1</sup> aufgestellt worden, und zwar dasjenige, welches für die meisten normalsichtigen Augen in der That sehr genau zutreffen scheint. Er hat aber keinen Beweis dafür gegeben und es nicht einmal selbst veröffentlicht. MEISSNER<sup>2</sup> unterwarf dieses Gesetz zuerst einer empirischen Prüfung mittels der Methode der Doppelbilder und fand es im Wesentlichen durch seine Versuche bestätigt; er suchte die Bedeutung des LISTING'schen Gesetzes daraus herzuleiten, daß dasselbe den größten Horopter gebe, ein Punkt, der weiter unten zu besprechen ist.

Nach einer anderen Erklärung des Raddrehungsgesetzes suchten FICK<sup>3</sup> und WUNDT<sup>4</sup>, die auf das LISTING'sche Gesetz weiter keine Rücksicht genommen haben, und von denen der erstere mittels des blinden Flecks, der letztere durch Nachbilder die Stellungen seines Auges bestimmte. Sie waren der Ansicht, daß der Augapfel denjenigen Grad der Raddrehung annehme, der es erlaube, die verlangte Richtung der Gesichtslinie mit der kleinsten Muskelanstrengung herzustellen. Dieser Satz ist höchst wahrscheinlich richtig, obgleich unsere Kenntniß der Bedingungen, von denen die Muskelanstrengung abhängt, noch nicht genügt, die Berechnung auf sicheren Grundlagen durchzuführen. WUNDT hat auch eine Art Ophthalmotrop, ein Modell des um einen Punkt drehbaren Auges hergestellt, an welchem die Augenmuskeln durch Messingfedern von entsprechender Länge und Stärke ersetzt waren, und an dem die Drehungen des Augapfels für die verschiedenen Lagen der Gesichtslinie den Beobachtungen von WUNDT an seinen eigenen Augen ziemlich gut entsprechend eintreten.

In Anbetracht des Umstandes aber, daß die Stärke der Muskeln selbst während des individuellen Lebens den von ihnen verlangten Leistungen sich anpaßt, schien mir dies Princip, selbst wenn es sich als factisch richtig bewähren sollte, nicht den eigentlichen letzten Grund des Gesetzes enthalten zu können. Ich fand bei der Prüfung des LISTING'schen Gesetzes mit Hülfe von Nachbildern dieses für meine eigenen Augen und für die einiger anderer normalsichtiger Beobachter mit großer Genauigkeit zutreffend; dasselbe bestätigte die Prüfung mit Doppelbildern für mein eigenes Auge. Ich suchte die Methode namentlich so zu verändern, daß die Stellung des Kopfes besser gesichert war, und daß Ermüdung der Muskeln durch Winkelmessungen in seitlichen Stellungen des Auges vermieden wurde, und suchte den Grund des Gesetzes in dem oben gegebenen Principe der leichtesten Orientirung.<sup>5</sup> Einwände gegen die Methode der Beobachtung und gegen die Begründung des Gesetzes, welche E. HERING<sup>6</sup> aufstellte, habe ich oben zu beseitigen gesucht.

## §. 28. Das monoculare Gesichtsfeld.

529

Bei dem gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen sehen wir mit ihnen beiden zugleich, indem wir sowohl sie selbst im Kopfe hin- und herbewegen,

<sup>1</sup> RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie: Ein neues Ophthalmotrop*. 1857.

<sup>2</sup> G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans* 1851. *Archiv für Ophthalmologie* II. 1855.

<sup>3</sup> A. FICK, *Moleschott Untersuchungen*, Bd. V, S. 193. 1858: *Zeitschrift für rationelle Medizin* 1854, IV, S. 801.

<sup>4</sup> W. WUNDT, *Gräfe's Archiv für Ophthalmologie*. VIII, 1862, S. 1—114.

<sup>5</sup> H. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 153—214.

<sup>6</sup> H. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1864. S. 248—286.





beiden Augen die Bilder des Punktes *A* dem Centrum der Netzhautgrube liegen.

Wir werden nun also zu untersuchen haben, wieviel die genannten Momente der Empfindung einzeln genommen zu der genauen Wahrnehmung des Ortes der Objecte beitragen. Wir werden dabei nicht weiter untersuchen, von welchen Empfindungen die Beurtheilung der Stellung des Körpers zum Fußboden und des Kopfes zum Körper abhängig ist; die Untersuchung darüber gehört in die Physiologie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, nicht in die des Gesichtssinnes. Wir nehmen also an, daß die Stellung des Kopfes gegen die zu Grunde gelegte Basis der räumlichen Abmessungen in jedem Falle genau bekannt sei. Dann bleibt also zu untersuchen, wieviel zur Erkenntniß des Ortes der Objecte beitragen

- 1) Bewegungen des Kopfes
- 2) Bewegungen der Augen im Kopfe
- 3) Sehen mit einem Auge
- 4) Sehen mit beiden Augen.

Wir beginnen unsere Untersuchung damit, daß wir feststellen, was beim 531 Gebrauche nur eines Auges und beim Ausschluss aller Bewegungen des Kopfes erkannt werden könne. Die Bewegungen des betreffenden Auges im Kopfe dagegen werden in dem vorliegenden Abschnitte im Allgemeinen nicht ausgeschlossen.

Zunächst ist klar, daß wenn gegeben ist Ort und Stellung eines Auges, und der Ort des Netzhautbildes eines leuchtenden Punktes, für den das Auge accommodirt ist, so können wir von seinem Netzhautbilde eine gerade Linie durch den Knotenpunkt des Auges ziehen, und wissen zunächst, daß der leuchtende Punkt vor dem Auge in dieser Linie liegen müsse. In welchem Punkte dieser Linie er aber liege, bleibt nothwendig unbekannt, wenn wir keine anderen Hilfsmittel zur Entscheidung darüber haben. Zwar könnte man an die Accommodation des Auges denken. Wäre das Auge möglichst gut für den Punkt accommodirt, so würde möglicher Weise der Grad der Accommodationsanstrengung, oder die Größe des vorhandenen Zerstreuungskreises Aufschluss über die Entfernung geben können. Wir werden weiter unten in § 30 untersuchen, welche Hilfsmittel beim monoculareren Sehen für die Beurtheilung der Entfernung noch vorhanden sind, und dabei sehen, daß die Accommodation in der That ein außerordentlich unvollkommenes Hilfsmittel für die Beurtheilung der Entfernung ist. Wenn wir also von den kleinen Unterschieden in der Schärfe des Bildes absehen, welche durch wechselnde Accommodation hervorgebracht werden können, so ist kein anderes Moment in der Empfindung vorhanden, welches darüber Aufschluss gäbe, in welcher Entfernung der leuchtende Punkt liegt.

Oben wurde vorausgesetzt, das Auge sei genau accommodirt für den leuchtenden Punkt. Dann können wir, um seine Richtung zu finden, von seinem Netzhautbilde, wie oben vorgeschrieben ist, die gerade Richtungs- linie durch die Knotenpunkte ziehen, oder aber auch jedem anderen Strahle



Farbe u. s. w. noch mancherlei Hilfe in der Deutung unseres Gesichtsfeldes gewähren. Wollen wir uns von allen diesen Hilfsmitteln früherer Erinnerung freimachen, so bietet sich uns ein Object dar, was für diese Untersuchung in ausgesuchter Weise paßt, nämlich der gestirnte Himmel. An dem finden wir Objecte, von deren Form, Grösse und Entfernung uns durchaus keine frühere Anschauung unterrichtet hat, für deren Wahrnehmung der Gebrauch beider Augen und die etwa von uns ausgeführten Bewegungen durchaus nicht weitere sinnliche Momente gewähren, als ein einzelnes Auge gewähren kann, dessen Ort im Raume unverändert bleibt.

Unter diesen Umständen erscheinen uns die Objecte, welche in der That im Raume nach drei Dimensionen vertheilt sind, nur noch nach zwei Dimensionen ausgebreitet. Wir sind nur noch im Stande, die Richtung der Visirlinie zu erkennen, die zu jedem einzelnen gesehenen Punkte hinführt. Eine solche Richtung braucht zu ihrer Festsetzung nicht mehr drei Bestimmungsstücke, wie ein Punkt, sondern nur zwei; wie denn auch die Sterne in ihrer Lage bestimmt werden durch je zwei Winkel, entweder ihre Länge und Breite im Verhältniß zum Pol und Aequator, oder ihre Rectascension und Declination im Verhältniß zur Ekliptik.

Eine Raumgrösse von zwei Dimensionen ist eine Fläche; in einer solchen ist die Lage der Punkte festgestellt durch je zwei Bestimmungsstücke. Wenn wir also beim Sehen mit einem Auge, dessen Drehpunkt seinen Ort im Raum nicht wechselt, die eine Dimension, die Entfernung, nicht zu unterscheiden vermögen, so können wir die Objecte nicht mehr im Raume, sondern nur noch wie an einer Fläche vertheilt sehen. Diese scheinbare flächenartige Anordnung der gesehenen Objecte nennen wir das Gesichtsfeld. So sehen wir zum Beispiel die Sterne an der imaginären Fläche des Himmelsgewölbes vertheilt. 533

Ich bitte den Leser darauf zu achten, daß ich nicht gesagt habe, die Gegenstände erschienen uns an oder auf einer Fläche vertheilt, sondern nur wie an einer Fläche, in flächenartiger Anordnung, in einer nach zwei Dimensionen unterschiedenen Anordnung. In der That stellen wir uns nicht nothwendig eine bestimmte Fläche in bestimmter Entfernung vor, an der die Sterne oder die fernen Berge des Horizonts angeheftet wären, wenn auch das eherne Himmelsgewölbe und die krystallinischen Sphären der alten Zeit der natürliche Ausdruck für eine kindlichere Art der Anschauung sind, in der man Alles recht greifbar zu machen suchte. Es ist dadurch manche Schwierigkeit in die physiologische Optik gekommen, daß man glaubte, in jedem Falle eine bestimmte Fläche, meist eine Kugelfläche, als das zeitweilige Gesichtsfeld jedes Auges annehmen zu müssen. Man kann sich jede Function von zwei Variablen auf einer Fläche darstellen. So haben wir in § 20 die Farben gleicher Helligkeit nach gewissen Regeln auf der Farbenscheibe dargestellt. Die beiden Variablen, nach denen die Farbe sich unterscheidet, sind hierbei der Farbenton und der Sättigungsgrad gewesen. Gehen wir durch eine continuirliche Reihe von Farbentönen von







kommen, viel wichtiger sein, als die Erfahrungen an operirten Staarkranken. Einige merkwürdige Fälle dieser Art sind am Ende dieses Abschnitts erwähnt.

Wir erkennen nun aber nicht bloß die Ordnung der Objectpunkte im Gesichtsfelde in dem allgemeinen Sinne, wie es bisher besprochen ist, sondern wir erkennen auch bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit die Gröfsenverhältnisse der Linien und Winkel. Der Zeichner, welcher sich bemüht, den Eindruck der körperlichen Objecte durch ein flächenhaftes Bild wiederzugeben, darf nicht bloß darauf ausgehen, die Punkte des Objects in der Reihenfolge auf seiner Zeichnung zu ordnen, wie unser Blick sie trifft, wenn er über sie hinschweift; er muß auch streben, gewisse Gröfsenverhältnisse einzuhalten zwischen den Abständen der einzelnen Punkte, damit wir die flache Zeichnung dem körperlichen Objecte ähnlich finden, und wenn wir eine Zeichnung auf einem Kautschukblatte ausführen und sie verschiedentlich ausrecken, so ändert sich ihr Anblick für unser Auge, trotzdem die Anordnung der Punkte in der Fläche dieselbe bleibt.

Um nun die auf die Beurtheilung der Gröfsenverhältnisse bezüglichen Thatsachen unzweideutig auseinandersetzen und ihrem Ursprunge nachforschen zu können, müssen wir noch einige Festsetzungen über die Flächen, auf welche wir uns die Bilder des Gesichtsfeldes projecirt denken wollen, vorausschicken.

Man braucht den Namen des Gesichtsfeldes in der Regel für die Erscheinung der vor uns liegenden Gesichtsobjecte, so lange man nicht auf ihre Entfernung von uns, sondern nur auf ihre scheinbare flächenhafte Anordnung neben einander achtet, ohne dabei bestimmt festzusetzen, ob die Objecte mit festgehaltenem oder mit schweifendem Blicke, oder vielleicht selbst mit Hülfe von Bewegungen unseres Kopfes und Körpers betrachtet werden sollen. In der nun folgenden Analyse unserer Wahrnehmungen wird es aber nöthig, diese verschiedenen Fälle von einander deutlich zu trennen. Der unbestimmte Name des Gesichtsfeldes mag beibehalten werden, wo es auf eine solche Unterscheidung des bewegten oder unbewegten Auges nicht ankommt, oder wo zusammengegriffen werden soll, was sowohl das bewegte, wie das unbewegte Auge wahrnimmt, wie wir denn auch mit dem Worte Gesicht den ganzen Sinn in allen seinen Anwendungen verstehen. 537 Dagegen habe ich schon im vorigen Paragraphen mit Blickfeld dasjenige Feld bezeichnet, über welches der Blick des bewegten Auges hinlaufen kann. Dem entsprechend betrachte ich das Blickfeld als eine Fläche, die fest mit dem Kopfe verbunden ist, mit diesem sich bewegt, und in welchem ein Punkt, der Blickpunkt oder Fixationspunkt von einem, beziehlich beiden Augen so betrachtet wird, daß er sich auf dem Centrum der Netzhautgrube abbildet. Die Richtungen oben und unten, rechts und links werden im Blickfelde nach den entsprechenden Richtungen des Kopfes genommen. Ein Punkt des Blickfeldes ist ausgezeichnet dadurch, daß er der Fixationspunkt des entsprechenden Auges in seiner Primärstellung ist; wir wollen ihn den









die ihnen parallel durch den Drehpunkt des Auges gehen. So können wir den Radius der Kugelflächen auch negativ nehmen, das heisst die Kugelflächen hinter den Drehpunkt legen, wo die Netzhaut und das Netzhautbild liegen. Wir können eine solche Kugelfläche, welche in der Gegend der wirklichen Netzhaut liegt, eine ideelle Netzhaut nennen, auf der ein ideelles Netzhautbild liegt. Man muß aber nicht glauben, daß eine solche schematische Netzhaut der wirklichen in ihren Dimensionen anders als in sehr grober Annäherung entspricht. Die wirkliche Netzhaut hat eine ellipsoide Form, und das Netzhautbild der äusseren Gegenstände auf ihr ist jedenfalls durch die Asymmetrien des brechenden Apparats mannigfach verzogen. Auch halte ich für mein Theil für wahrscheinlich, daß es ganz gleichgiltig für das Sehen ist, welche Gestalt, Form und Lage die wirkliche Netzhaut hat, welche Verzerrungen das Bild auf ihr erleidet, wenn es nur überall scharf ausgeprägt ist, und weder die Form der Netzhaut noch die des Bildes im Laufe der Zeit sich merklich verändert. Im natürlichen Bewusstsein des Sehenden existirt die Netzhaut gar nicht. Weder durch die Hilfsmittel der gewöhnlichen Empfindung, noch selbst durch wissenschaftliche Versuche sind wir im Stande, von den Dimensionen und der Lage und Form der Netzhaut des lebenden Auges irgend etwas zu erfahren, ausser was wir an ihrem optischen Bilde, welches die Augenmedien nach aussen entwerfen, ermitteln können. Nur durch die Augenmedien hindurch verkehrt die Netzhaut der Regel nach mit der Aussenwelt, und existirt für diese auch gleichsam nur so, wie sie in ihrem optischen Bilde erscheint. Der Repräsentant dieses optischen Bildes ist das von uns definirte Sehfeld.

Wenn zwei helle Punkte im Sehfelde vorhanden sind bei fester Stellung des Auges, so werden zwei verschiedene Sehnervenfasern durch deren Licht erregt und es entstehen zwei Empfindungen, die durch eigenthümliche Localzeichen von einander unterschieden sein müssen, da wir sie in der Empfindung zu unterscheiden im Stande sind. Welcher Stelle der Netzhaut diese Localzeichen angehören, wissen wir von vorn herein ebenso wenig, als wo die Sehnervenfasern liegen, die sie leiten, und zu welchen Stellen des Gehirns die Erregung fortgeleitet wird. Wir können uns darüber nur durch wissenschaftliche Untersuchungen Aufschluß verschaffen; hinsichtlich des den Sehnerven und das Gehirn betreffenden Theiles der Frage sind wir dabei bis jetzt noch nicht über die ersten einleitenden Schritte hinausgekommen. Wohl 540 aber wissen wir durch tägliche Erfahrung, wie wir den Arm ausstrecken müssen, um einen oder den andern hellen Gegenstand entweder zu berühren oder unserem Auge zu verdecken. Wir können also direct durch solche Bewegungen die Richtung im Sehfelde ermitteln, wo sich die Objecte befinden, und wir lernen direct die besonderen Localzeichen der Empfindung zu verbinden mit dem Orte im Sehfelde, in den das Object gehört. Dies ist auch der Grund, warum wir die Gegenstände trotz ihrer umgekehrten Netzhautbilder aufrecht sehen. Die Netzhautbilder kommen bei der Localisation der Objecte eben gar nicht in Betracht; sie sind nur Mittel, die Lichtstrahlen



einander drei durch Gewichte gespannte Fäden in verticaler Richtung und horizontal gegen einander verschiebbar auf, und machte nach dem Augenmaasse ihre Abstände gleich, welche wechselten zwischen 10 und 240 Milli- 542  
meter, wobei sein Auge 800 Millimeter von den Fäden entfernt war. Die Summe der bei den unter gleichen Umständen gemachten Versuchsreihen gemachten Fehler wurde genommen, wobei vom Sinne der Fehler abgesehen wurde, und diese Summe durch die Zahl der Beobachtungen dividirt; so erhielt er den mittleren Fehler, der bei diesen Versuchen stets nahehin den gleichen Bruchtheil der ganzen verglichenen Länge ausmachte. Die Gröfse dieses mittleren Fehlers betrug im Mittel aus allen Beobachtungen in Bruchtheilen der ganzen Länge der verglichenen Linien

bei FECHNER	$\frac{1}{62,1}$
bei VOLKMANN, frühere Versuche	$\frac{1}{88,0}$
bei demselben, spätere Versuche	$\frac{1}{101,1}$

Es zeigte sich demnach für diese Beobachtungen das von WEBER aufgestellte und von FECHNER verallgemeinerte psychophysische Gesetz gültig, welches wir schon bei der Untersuchung über die Abhängigkeit der Stärke der Lichtempfindung von der objectiven Helligkeit kennen gelernt haben, wonach die unterscheidbaren Unterschiede der Empfindungsgrößen der gesammten Gröfse des Empfundenen proportional sind.

Andere Versuche wurden mit viel kleineren mikrometrisch zu messenden Distanzen von VOLKMANN und einem seiner Schüler angestellt. Die Distanzen waren durch drei feine parallele Silberfäden, von 0,445 Millimeter Dicke und 11 Millimeter Länge bestimmt, welche durch Mikrometer-schrauben verschoben werden konnten. Sie wurden ebenfalls so eingestellt, daß ihre Entfernung, wechselnd von 0,2 bis 1,4 Millimeter nach dem Augenmaass gleich gemacht wurde. Die Fehler nahmen in diesem Falle nicht mehr proportional den gemessenen Distanzen ab, sondern näherten sich einer unteren Grenze, wie zu erwarten war, da bei so kleinen Distanzen die Genauigkeit in der Unterscheidung kleinster Theile des Gesichtsfeldes, welche von der Feinheit der Netzhautelemente abhängt, mit in Betracht kommen muß. Der mittlere Fehler  $\Delta$  konnte aber dargestellt werden als die Summe eines constanten und eines dem Abstände  $D$  der Fäden proportionalen Gliedes, nach der Formel

$$\Delta = v + WD$$

worin  $v$  und  $W$  zwei Constanten bezeichnen. Es ergaben sich hierbei reducirt auf 340 Millimeter Sehweite folgende Werthe dieser Constanten



Mittel der Einstellungen oder variable Fehler. Die constanten Fehler machten die links liegende Distanz immer etwas zu groß im Verhältniß zur rechts liegenden. Als die zu theilende Gröſſe eine Pariser Linie war, betrug der Werth der constanten Fehler in Tausendtheilen einer Linie im Mittel aus je 40 Versuchen:

Constanter Fehler, aus je 40 Versuchen berechnet.

Ausgangs- punkt von	Geforderte Verhältnisse.								
	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	13,4	19,8	6,7	11,7	3,4	13,4	24,8	10,0	6,8
Rechts	−10,8	− 9,3	−20,0	−12,0	− 6,2	− 4,5	− 9,5	−19,7	−19,4
Unten	+ 2,9	+ 2,9	−12,1	− 5,9	−13,5	− 2,2	+ 7,2	+ 5,1	+11,6
Oben	− 5,0	− 4,7	− 6,0	+ 3,9	+ 9,7	+13,6	−17,4	− 7,3	−10,8

In den beiden oberen Reihen lag die zu theilende Distanz horizontal, 544 in den beiden unteren vertical. Als Ausgangspunkt ist das Ende derselben angegeben, von wo der abzumessende Theil angefangen wurde abzumessen. Die variablen Fehler wurden nach ihrer absoluten Gröſſe ohne Rücksicht auf das Vorzeichen addirt und dann durch die Anzahl der Beobachtungen dividirt. Es ergaben sich nahehin gleiche mittlere Gröſſen derselben für complementäre Verhältnisse. Ihre Gröſſe war im Mittel von je 160 Beobachtungen (für 0,5 nur 80 Beobachtungen)

Mittelwerthe der variablen Fehler.

Zu theilende Distanz	Gefordertes Verhältniß				
	0,1 und 0,9	0,2 und 0,8	0,3 und 0,7	0,4 und 0,6	0,5
Horizontal	6,73	4,36	3,01	2,64	1,11
Vertical	7,09	9,01	9,95	8,61	7,98.

Absolut größer, aber relativ etwas kleiner wurden die Fehler in einer anderen Versuchsreihe, wo der ganze zu theilende Abstand 100 Millimeter betrug, und die Grenzen der betreffenden Abstände durch drei feine von dem Maassstabe herabhängende Menschenhaare angezeigt waren. Die Gröſſen sind in Zehntelmillimetern angegeben, sodaß die Einheit wieder ein Tausendtheil der zu theilenden Gröſſe beträgt.

Constante Fehler.

Ausgangs- punkt von	Gefordertes Verhältniß								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	2,35	7,45	0,5	10,7	4,15	12,4	11,3	0,85	4,10
Rechts	−1,8	+0,6	−11,1	− 5,2	−4,0	− 7,5	− 5,5	−4,4	−2,8





geraden Linie nach aussen bauchte, dessen Krümmungsradius demnach etwa 14 Meter betrug, die Krümmung mit dem Auge richtig erkennen, ebenso bei einem anderen concaven Lineale, welches in der Mitte ein halbes Millimeter abwich. So genaue Bestimmungen sind aber nicht bei fixirtem Blicke, sondern nur mit Hilfe der Augenbewegungen möglich.

Wir sind ferner im Stande, mit grosser Genauigkeit zu entscheiden, ob gerade Linien einander parallel sind oder nicht. Um das zu ermitteln, lassen wir den Blick an einer von ihnen, oder in der Mitte zwischen ihnen hin und hergehen, und erkennen dann mit ziemlich grosser Genauigkeit, ob ihr Abstand nach dem einen Ende hin ebenso gross, oder ob er grösser ist als am andern Ende. So sind wir ferner auch mit verhältnissmässig grosser Sicherheit im Stande zu erkennen, dass zwei Winkel, deren Schenkel einander parallel gerichtet sind, einander gleich gross sind, weil wir eine kleine Abweichung vom Parallelismus der Schenkel leicht erkennen und daraus dann auf Ungleichheit der Winkel schliessen. Nach Versuchen von E. MACH<sup>1</sup> geschieht die Beurtheilung des Parallelismus genauer für horizontale und verticale Linien als für geneigte. Dagegen ist die Vergleichung solcher Winkel, deren Schenkel nicht parallel mit einander sind, nicht nur sehr unsicher, sondern auch ziemlich regelmässigen constanten Fehlern unterworfen.

Verhältnissmässig die einfachste Aufgabe dieser Art ist, zu entscheiden, ob ein Winkel seinem Nebenwinkel gleich und also ein rechter sei. Wenn von zwei sich rechtwinkelig kreuzenden geraden Linien die eine horizontal, die andere vertical ist, so erscheinen für das rechte Auge der meisten Individuen die nach rechts oben und links unten liegenden rechten Winkel wie stumpfe, die beiden andern wie spitze Winkel. Für das linke Auge umgekehrt erscheinen die dem rechten Auge stumpf erscheinenden Winkel spitz, die spitzen stumpf. Dabei ist zu beachten, dass man beide Augen nach einander senkrecht gegen die Fläche der Zeichnung auf den Kreuzungspunkt der Linien einstellen muss. Versucht man dagegen nach dem Augenmaasse zu einer gegebenen Horizontallinie eine Verticale zu ziehen, so weicht deren oberes Ende um etwa einen Grad nach rechts herüber, wenn man mit dem rechten Auge sehend die Zeichnung gemacht hat, und nach links, wenn es mit dem linken Auge geschah. So stellt *Fig. 212* (auf S. 688) ein für mein rechtes Auge scheinbar richtiges rechtwinkeliges Kreuz der Linien  $ab$  und  $cd$  vor, während die Linienstücke  $\gamma$  und  $\delta$  die Lage der wirklich richtigen Verticalen bezeichnen. Sehe ich mit dem linken Auge dieselbe Zeichnung an, so erscheint mir das obere Ende von  $cd$  im Gegentheil übertrieben nach rechts geneigt. 546

Die Grösse des Irrthums, den man betreffs der rechten Winkel begeht, hängt von der Neigung ihrer Schenkel gegen den Netzhauthorizont ab. Ich sehe rechte Winkel richtig mit dem rechten Auge, wenn das obere Ende des einen Schenkels um etwa 18 Grad von der Verticale nach links

<sup>1</sup> E. MACH, *Sitzungsber. d. K. K. Akad. zu Wien*, 1861, Bd. XLIII. 215—224.







in sich selbst verschiebbar und sich selbst also in allen ihren Theilen congruent seien; das sind, wie die vorausgehende Erörterung zeigt, unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes, die Richtkreise. Zwar können auch andere Kreise im Blickfelde erscheinen, die wir für in sich selbst verschiebbar erklären müssen, aber wir können dies nur durch Messungen und Schlüsse, nicht durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren.

Wenn ein Auge in seinen Bewegungen abweicht vom LISTING'schen Gesetze, so existiren bei einem solchen nicht nothwendig Linien, die bei Bewegungen des Blicks in ganzer Länge in sich selbst verschiebbar sind; aber man wird jedes Mal Linien construiren können, deren Elemente alle nacheinander auf demselben das Centrum der Netzhaut schneidenden Linien-elemente der Netzhaut abgebildet werden können. Solche wollen wir Richtlinien des Blickfeldes nennen. Nur unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes für die Augenbewegungen sind alle Richtlinien des Blickfeldes in sich selbst verschieblich und erscheinen dem Auge, dessen Blick an ihnen entlang läuft, fortdauernd in unverändertem Netzhautbilde. Es ist dies eine wesentliche Eigenthümlichkeit der dem LISTING'schen Gesetze folgenden Augenbewegungen.

Gerade Linien des objectiven Raumes erscheinen im kugelförmigen Gesichtsfelde als größte Kreise desselben. Größte Kreise fallen mit den Richtkreisen nur zusammen, wenn sie durch den Hauptblickpunkt (die Primärstellung der Blicklinie) gehen. Dann erscheinen kurze Stücke von ihnen, wie die oben beschriebenen Versuche zeigen, als gerade Linien, sonst aber gekrümmt, und zwar entgegengesetzt der wirklichen Krümmung der Richtkreise gekrümmt.

Die Richtkreise, beziehlich Richtlinien, müssen in der That in dem flächenhaften Blickfelde die Stelle der geraden Linien, welches die Linien constanter Richtung in der Ebene sind, vertreten. Wir können mit einem kurzen Lineal in der Ebene eine beliebig lange gerade Linie ziehen, indem wir zuerst eine solche ziehen, so lang als das Lineal es erlaubt, dann das Lineal längs der gezogenen Linie eine Strecke weit verschieben und so fortfahren. Ist das Lineal genau gerade, so erhalten wir bei diesem Verfahren eine gerade Linie; ist es selbst etwas gekrümmt, so erhalten wir einen Kreis. Statt des verschiebbaren Lineals dient uns im Gesichtsfelde die mit einem linienhaften Gesichtseindruck, der unter Umständen bis zum Nachbilde gesteigert sein kann, versehene centrale Stelle des deutlichsten Sehens. Wir verschieben den Blick in Richtung dieser Linie, dabei verschiebt sich die Linie selbst und zeigt uns die Fortsetzung dieser Richtung an. 550 In der Ebene können wir jenes Verfahren gleich gut mit jedem geradlinigen oder bogigen Lineal ausführen, im Gesichtsfelde aber ist für jede Richtung des Blicks und der Bewegung nur eine einzige Art von Linie möglich, die sich fortdauernd in ihrer eigenen Richtung verschieben läßt.

Wir sehen also, wie durch die Augenbewegungen und ihr bestimmtes Gesetz gewisse Abmessungen im Blickfelde möglich werden. Nun finden



Man wiederhole den früher erwähnten Versuch mit drei Sternen mit fixirtem Blicke, während früher Bewegung des Blicks über dieselben hin vorausgesetzt war. Man suche sich am Sternenhimmel drei helle Sterne, die möglichst annähernd in einem grössten Kreise liegen, was man mittels eines ausgespannten Fadens, an dem man vorbei nach den drei Sternen hin visirt, hinreichend genau erkennen kann. Man wähle diese Sterne möglichst weit von einander entfernt; doch müssen sie hell genug sein, um auch im indirecten Sehen noch leicht erkannt und von den benachbarten kleineren unterschieden zu werden. Wenn man solche gefunden hat, fixire man den mittleren; sie werden in einer geraden Linie zu liegen scheinen, oder wenn sie nicht ganz genau in einem grössten Kreise liegen, so erkennt man richtig den Sinn und ungefähr auch die Grösse der Abweichung. Nun wähle man aber den Fixationspunkt in einiger Entfernung auf der einen oder anderen Seite der Sternenreihe, man wird sogleich und sehr deutlich die Reihe gegen den Fixationspunkt concav sehen, um desto mehr concav, je weiter entfernt der Fixationspunkt von der Reihe der drei Sterne ist. Daraus lernen wir, daß am Sternenhimmel bei unbewegter Blickrichtung ein grösster Kreis nur dann ungekrümmt erscheint, wenn er durch den Fixationspunkt geht, dagegen concav gegen den Fixationspunkt, wenn er das nicht thut. Es folgt daraus weiter, daß Linien, welche auf den peripherischen Theilen des Gesichtsfeldes ungekrümmt erscheinen sollen, in Wahrheit auf dem Himmelsgewölbe convex gegen den Fixationspunkt sein müssen.

An irdischen Objecten wird man in der Beurtheilung der Ausmessungen des Sehfeldes zwar leicht beeinflusst durch die schon vorher erworbene Kenntniß der wirklichen Ausmessungen des Objects, es gelingt aber doch auch an solchen dieselbe Täuschung wahrzunehmen.

Am zweckmässigsten ist es, sich weit über eine große Tischplatte zu beugen, so daß man keine erkennbaren geraden Linien mehr im Gesichtsfelde hat, nach denen man sich richten könnte, und einen Punkt der Platte zu fixiren. Wenn man dann in einiger Entfernung vom Fixationspunkte drei Papierschnitzelchen oder andere helle Objecte hinlegt und dieselben in eine gerade Linie zu richten strebt, so findet man stets, sobald man den Blick auf die Papierchen selbst richtet, daß man sie in einen gegen den früheren Fixationspunkt convexen Bogen gelegt hat.

Wenn man über dieselbe Tischplatte einen langen von zwei parallelen Linien begrenzten und etwa drei Zoll breiten Papierstreifen legt und dessen Mitte fixirt, so bemerkt man, daß seine Enden im indirecten Sehen schmäler als die Mitte erscheinen, und daß er von zwei mit ihrer Convacität gegen einander sehenden Bögen begrenzt erscheint.

An geraden Linien von geringerer scheinbarer Erstreckung bemerkt man die Krümmung meistentheils nicht, weil wir viel mehr geneigt sind, sie als gerade Linien der körperlichen Objecte, denn als grösste Kreise des Gesichtsfeldes zu betrachten und zu deuten.









Thür in einer dunklen Wand, oder einen dunklen Baum vor der hellen Himmelsfläche hat, und beachte, wie hoch diese im indirecten Sehen erscheinen. Man wende dann Auge und Kopf direct nach diesen Gegenständen hin, so wird man finden, daß sie viel niedriger erscheinen, und daß im Gegensatz zu der verminderten Höhe ihre Breite viel mehr heraustritt. Berge am Rande des Gesichtsfeldes erscheinen in ähnlicher Weise höher und steiler, als wenn man direct hinblickt.

Andererseits lege man einen weissen Bogen Papier vor sich auf einen dunklen Fußboden und sehe horizontal gerade aus, so daß das Papier am unteren Rande des Gesichtsfeldes erscheint, es wird relativ zu breit von rechts nach links erscheinen und sich scheinbar zusammenziehen, sobald man direct hinblickt.

Während so die der Peripherie des Sehfeldes parallelen Bögen ver- 555 grössert erscheinen, erscheinen die peripherischen Theile der radial verlaufenden Linien etwas verkleinert. Die Hyperbeln der *Fig. 213* sind so construiert, daß aus der Entfernung *A* gesehen die Scheitel der horizontal und die der vertical verlaufenden Hyperbeln um gleiche Gesichtswinkel von je 10 Grad von einander abstehen. Wenn also die Hyperbeln als gerade Linien erscheinen, so sollten die schwarzen und weissen Felder alle als gleich grosse Quadrate erscheinen. Das ist aber nicht der Fall; vielmehr erscheinen die von der horizontalen Mittellinie weit nach oben und nach unten gelegenen Quadrate zu niedrig gegen ihre Breiten. Weniger deutlich finde ich es, daß die nach rechts und links gelegenen vielleicht etwas zu schmal in ihrer Breite erscheinen. Doch ist überhaupt diese Vergleichung der Grössen direct und indirect gesehener Objecte sehr unvollkommen.

Eine farbige kreisförmige Pappscheibe vor einen contrastirenden Grund gehalten, erscheint daher am oberen und unteren Rande des Sehfeldes als eine elliptische Scheibe mit längerem horizontalen Durchmesser. Weniger deutlich zeigt sie sich am rechten und linken Rande des Sehfeldes als eine Ellipse mit längerem verticalen Durchmesser.

Da die Seitentheile des Sehfeldes uns etwas zu hoch und etwas zu schmal erscheinen, so besteht eine gewisse Neigung, sie für näher und schräg gestellt gegen die Gesichtslinie zu halten. Sowie man den Blick nach ihnen hinwendet, scheinen sie zurückzuweichen und sich mehr senkrecht gegen die Blicklinie zu stellen. Es ist dies eine Täuschung, die ich bei weit entfernten Objecten am Horizont, am Sternenhimmel sehr gewöhnlich sehe. Das Sehfeld erscheint mir dann nicht als eine Kugel, in deren Mittelpunkt sich das Auge befindet, sondern es erscheint stärker concav als eine solche; doch möchte ich nicht sagen, daß das monoculare Sehfeld bei unbewegtem Blicke sich uns mit einiger Entschiedenheit als eine bestimmt geformte Fläche darstellte.

In der That lassen sich nun die hauptsächlichsten der eben beschriebenen Eigenthümlichkeiten der Wahrnehmung in folgendem geometrischen Bilde zusammenfassen. Man denke sich zuerst das Blickfeld als eine Hohlkugel,



Auch die scheinbare Abweichung der verticalen Meridiane und des Verhältnisses der verticalen und horizontalen Dimensionen ist nicht berücksichtigt.

Wir kommen jetzt zu der Untersuchung, wie kann eine solche Ausmessung des Sehfeldes entstehen.

Im Sinne der nativistischen Theorie ist sie durch gewisse organische Einrichtungen von Geburt auf gegeben, eine Erklärung aus den Gesichtsscheinungen also nicht weiter zu suchen.

Die empiristische Theorie aber wird versuchen müssen, eine solche Erklärung zu finden. Wir setzen dabei voraus, daß das Bewegungsgesetz der Augen ausgebildet sei, was, wie im vorigen Paragraphen gezeigt wurde, eine Kenntniß der Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde geschehen kann, in Folge des Bestrebens, die Veränderungen der Eindrücke bei Bewegung des Auges als abhängig von dieser Bewegung und nicht von Veränderungen der äusseren Objecte zu constatiren. In Wirklichkeit mag, wie schon früher bemerkt wurde, die Ausbildung des Augenmaasses sich theilweise gleichzeitig mit dem Gesetz der Bewegungen entwickeln und die ganze Übung nicht so methodisch und in einzelne Stadien getrennt vor sich gehen, wie wir es hier der Uebersichtlichkeit wegen haben darstellen müssen. 557  
Wesentlichen wird dadurch nichts geändert.

Wir haben im Anfange dieses Paragraphen auseinandergesetzt, wie unter Hilfe der Bewegungen des Auges zunächst ermittelt werden kann, in welcher Reihenfolge die Objecte und die durch besondere Localzeichen charakterisirten entsprechenden Netzhautpunkte in der Fläche jene des Gesichtsfeldes, diese der Netzhaut geordnet sind. Es blieb nur noch übrig, die Entstehung der bestimmten Grössenverhältnisse zu erörtern.

Wir haben dann gesehen, wie die Kenntniß gewisser Linien im Blickfelde, die in allen ihren Theilen übereinstimmende Richtung haben, und als sich selbst verschiebbar wahrzunehmen sind, der Richtlinien, durch das ausgebildete Bewegungsgesetz der Augen gewonnen werden kann.

Wenn wir nun irgend ein Object im indirecten Sehen wahrnehmen, von dem also einen begrenzten Eindruck auf einen seitlichen Theil der Netzhaut erhalten haben, und dann den Blick jenem Objecte zuwenden, so erhalten wir hinterher einen Eindruck desselben Objects mit seiner gleichen scheinbaren Grösse auch auf dem Centrum der Netzhaut, und können also aus Erfahrung allmählich lernen, welchem centralen Eindrucke ein gewisser peripherischer in Qualität und Grösse gleich gilt. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, auch mittels des indirecten Sehens, soweit dessen Genauigkeit reicht, Objecte ihrer Form und scheinbaren Grösse nach beurtheilen zu können.

Neben der Grösse und Form wird aber auch eine Vergleichung der Richtung des erst indirect und dann direct gesehenen Objectes mit dem erst direct gesehenen eintreten, es wird wahrgenommen werden, welche Linien beider Objecte sich auf denselben Meridianen der Netzhaut abbilden.









der Construction gemäß müssen alle einzelnen Linienstücke und Winkel der beiden Figuren einander gleich erscheinen.

Die scheinbare Lage der Punkte im mittleren, scharf gesehenen Theile des Sehfeldes, welchen wir als Ebene betrachten können, wird also nach der vorgetragenen Theorie, wie es auch in der That der Fall ist, aus der geometrischen hergeleitet werden, wenn wir die Punkte aus einem rechtwinkligen Coordinatensystem in ein schiefwinkeliges mit verändertem Axenverhältniß übertragen. Indessen läßt sich auch, wie aus bekannten Sätzen der analytischen Geometrie erhellt, in solchen Fällen immer eine bestimmte Axenrichtung eines rechtwinkligen Systems angeben, an dem die Uebertragung dadurch vorgenommen werden kann, daß nur die der einen Axe parallelen Coordinaten in einem bestimmten Verhältnisse verkürzt oder verlängert werden. Die Winkel und Axenverhältnisse, welche diesen Umformungen zu Grunde zu legen sind, sind schon oben angegeben.

Ich muß hier noch bemerken, daß die beschriebenen thatsächlichen Verhältnisse nicht passen zu zwei anderen Theorien, die über die Ausmessung des Sehfeldes aufgestellt worden sind. Eine Anzahl von Physiologen hat sich der Annahme von J. MÖLLER angeschlossen, daß die Netzhaut die Fähigkeit hätte, ihre eigenen räumlichen Dimensionen wahrzunehmen. Dann würden die tangential gerichteten Strecken nahe der Peripherie des Sehfeldes nicht zu groß, wie sie es thun, sondern vielmehr zu klein erscheinen müssen, da, wie der Querschnitt des Auges *Fig. 1* (S. 5) lehrt, die Netzhaut gegen ihren vorderen Rand an der *Ora serrata* *g g* hin beträchtlich enger wird, als eine um den Knotenpunkt beschriebene Halbkugel. Wie es sich unter dieser Annahme mit den radialen Dimensionen verhalten müßte, läßt sich nicht gut entscheiden, da die Brechung der Strahlen, welche sie bei so schiefer Einfall in Richtung zur Axe hin erleiden, und die Lage des Netzhautbildes nicht genau bestimmt werden können.

Eine zweite Annahme, die zur Erklärung der Ausmessung des Sehfeldes 561 gebraucht worden ist, ist von mehreren Physiologen aus E. H. WEBER'S Versuchen über die Empfindungskreise der Haut und der Netzhaut hergeleitet worden, freilich wohl kaum, wie mir scheint, im Sinne dieses Autors<sup>1</sup>. Danach sollen die kleinsten räumlich unterscheidbaren Ausdehnungen als Einheiten des Flächenmaasses benutzt werden. Räumliche Trennung zweier Eindrücke kann, wie schon auf Seite 256 erörtert wurde, nur wahrgenommen werden, wenn zwischen zwei erregten Flächenelementen ein nicht erregtes oder anders erregtes übrigbleibt und wahrgenommen werden kann. Die GröÙe der kleinsten unterscheidbaren Flächenelemente ist nun an verschiedenen Theilen der Netzhaut sowohl, wie auÙer WEBER auch AUBERT und FÖRSTER erwiesen haben, als auch an verschiedenen Stellen der Haut sehr verschieden, so daß die Entfernung der erregten Punkte an verschiedenen Theilen sehr verschieden groß gewählt werden muß, wenn man sie

<sup>1</sup> E. H. WEBER über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Berichte der Sächs. Ges.* 1852, S. 85—164.



diese Fragen übrigens bei den Phänomenen des blinden Flecks weiter unten noch einmal zurück.

Außer den hier beschriebenen allgemeinen Täuschungen über die Größeverhältnisse des Sehfeldes, welche vom Gesetz der Augenbewegungen und von der Art, wie wir unser Sehfeld kennen lernen, abhängig sind, giebt es noch eine Reihe von Täuschungen, welche von besonderen Eigenthümlichkeiten der betrachteten Figuren abhängen, aber auch interessant sind, weil sie mehr oder weniger deutlich die Motive kennen lehren, denen wir bei der Schätzung der GröÙe und Formen im Sehfelde folgen.

Man kann die hier in Betracht kommenden Phänomene meist auf die schon bei den Contrasterscheinungen aufgestellte Regel zurückführen, daß deutlich zu erkennende Unterschiede bei allen Sinneswahrnehmungen größer erscheinen, als undeutlich zu erkennende Unterschiede von gleicher objectiver GröÙe. Eine erste Folge davon ist, daß wir eine getheilte RaumgröÙe leicht für größer halten, als eine ungetheilte, weil die directe Wahrnehmung der Theile uns deutlicher erkennen läßt, daß die betreffende GröÙe so viel und so große Theile enthalte, als wenn die Theile nicht erkennbar abgezeichnet sind. So wird man in der nebenstehenden Linie *Fig. 215* leicht das Stück *ab* gleich *bc* halten, obgleich in der That *ab* größer ist als *bc*. Eine Reihe von Messungen über diese Art der Täuschung ist von A. KUNDT<sup>1</sup> ausgeführt worden.

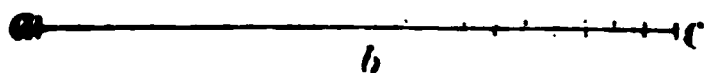


Fig. 215.

Er blickte nach 5 stählernen Spitzen *A, B, C, D, E*, die hinter einem Schirme so hervorragten, daß die Entfernung  $AB = 20,2$  Mm.,  $BC = 40,2$  Mm.,  $AE = 241,9$  Mm. war. Die Spitze *D* wurde nach dem Augenmaasse in die Mitte eingestellt. Wäre sie wirklich in der Mitte gewesen, so hätte die Entfernung  $CD$  betragen müssen 60,55 Mm. Sie wurde aber im Mittel aus 120 Versuchen eines Beobachters gemacht gleich 57,87 Mm., so daß die scheinbare Mitte um 2,68 Mm. nach der Seite der Spitzen *A, B* und *C* von der Mitte hin entfernt lag. Bei einem anderen Beobachter ergab sich im Mittel aus 120 Versuchen die Abweichung gleich 3,95 Mm. Die Entfernung der Spitze *D* vom Knotenpunkte des Auges betrug in allen Fällen 338 Mm. 563

Zu bemerken ist, wie bei diesen Versuchen sich herausstellte, daß das rechte Auge die rechte Hälfte einer zu halbirenden Distanz größer zu machen strebt, das linke Auge die linke Hälfte. Der erste Beobachter machte die dem gebrauchten Auge entsprechende Hälfte um 2,24 Mm., der zweite um 4,77 Mm. größer als die andere.

Bei den beschriebenen Versuchen werden Distanzen verglichen, welche mit denselben Netzhautpunkten zur Deckung gebracht werden können. Viel auffallender werden die Täuschungen, wenn die zu vergleichenden Distanzen verschiedene Richtung haben.

<sup>1</sup> A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen* CXX. S. 113.

V. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 2. Aufl.

















wir uns nähern, dabei eine verticale Bewegung zeigt nach aufwärts, so lies eine ähnliche Erscheinung, als wir haben würden, wenn wir uns nicht in senkrechter Richtung näherten, sondern unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach abwärts sieht, und umgekehrt bei den abwärts-  
enden Streifen ist die Scheinbewegung dieselbe, als wenn wir uns ihnen rten unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach aufwärts sieht.  
nun aber die Richtung der wirklichen Bewegung unseres Blicks für alle 570  
fen dieselbe ist, so erscheinen uns umgekehrt die Streifen gegen die  
gungslinie des Blicks geneigt, die aufsteigenden mit dem oberen Ende  
Richtung dieser Bewegung entgegen, die absteigenden ihr folgend, wie  
ig. 225 angezeichnet ist, wo  $a b$  die Richtung bezeichnen soll, in der  
der Blick bewegt,  $c c$ ,  $d d$ ,  
 $e e$  die scheinbare Lage der  
calen Streifen in übertrie-  
r Divergenz, und die Pfeile  
n diesen letzteren Linien  
Richtung, in der sich so  
alte Linien scheinbar be-  
n würden, wenn der Blick  
Richtung der horizontalen  
e fortgleitet.

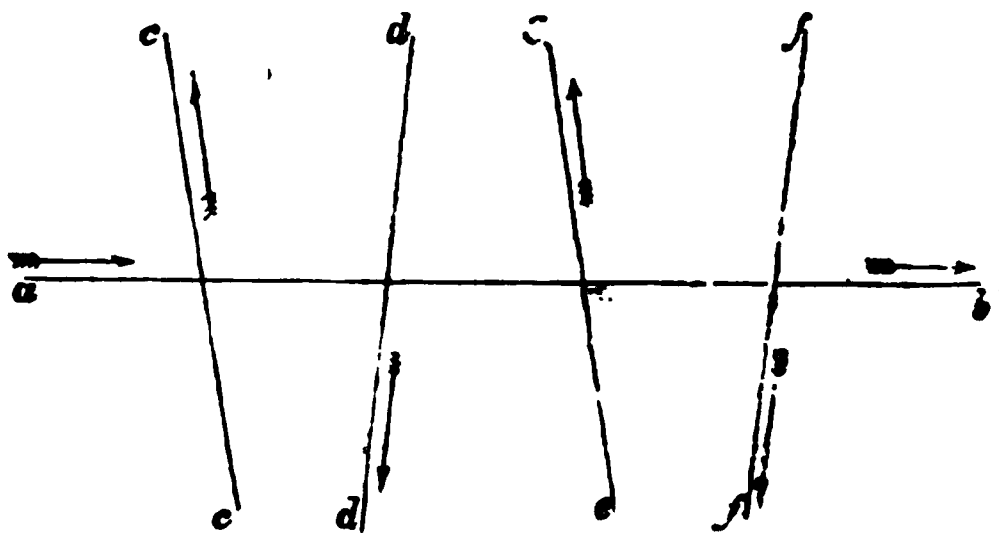


Fig. 225.

Macht man die Bewegung  
Spitze, der das Auge folgt, allmählich langsamer, so wird auch die Schein-  
gung langsamer, wird leichter übersehen, kann aber bei einiger Auf-  
samkeit erkannt werden, und gleichzeitig finde ich, daß die scheinbare  
rgenz der verticalen Streifen sich weniger bestimmt zeigt. Ohne Hilfe  
leitenden Spitze kommt weder die Scheinbewegung der Streifen noch  
scheinbare Divergenz so schön zum Vorschein, wie mit einer solchen,  
scheinlich weil wir unseren Blick über eine Zeichnung mit so hervor-  
nden Liniensystemen nicht so gleichmässig und so geradlinig hingleiten  
n können. Da übrigens die Täuschung über die Richtung der Streifen  
der über ihre Bewegung gleichzeitig wächst und fällt, so zweifle ich  
, daß auch die Verstärkung der Täuschung bei den gewöhnlichen  
gungen des Blicks dieselbe Ursache habe.

Führt man die fixirte Nadelspitze parallel den verticalen Streifen über  
Zeichnung, so wird die Täuschung nicht nur nicht verstärkt, sondern  
: geschwächt oder ganz beseitigt. Die verticalen Streifen zeigen sich  
als parallele Richtlinien im Blickfelde dadurch, daß ihre Netzhautbilder  
in sich selbst verschieben.

Der hier beschriebene Einfluss der Scheinbewegung der verticalen  
fen auf die scheinbare Grösse des Winkels zwischen ihnen und der  
gungsrichtung des Blicks läßt sich übrigens ganz ebenso an einem  
ich bewegten Körper zeigen. Man lege einen mit Theilstrichen ver-  
nen Maafsstab in horizontaler Richtung auf ein Blatt Papier, setze dicht



Beschreibung der Täuschung an dem Muster der *Fig. 222* dieselbe auf die Bewegungen des Auges zurückzuführen gesucht. Ganz unzulässig erscheint mir dagegen die von E. HERING gegebene Erklärung. Derselbe meint, daß wir die Entfernung zweier Punkte nach der geradlinigen Entfernung ihrer beiden Netzhautbilder beurtheilen. Demgemäfs werden nach ihm im Allgemeinen kleine Entfernungen relativ gröfser gesehen als grofse ungetheilte, weil bei kleinen Bögen der Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne, welche die Distanz seiner Enden misst, relativ kleiner ist, als bei grofsen. Eben deshalb sollen kleine Winkel stets relativ zu grofs im Vergleich zu ihren gröfseren Nebenwinkeln gesehen werden. Auf dasselbe Princip hat auch A. KUNDT eine ausführlichere Theorie dieser Erscheinungen zu gründen 572 gesucht und Messungen in der schon oben erwähnten Weise ausgeführt, die sie stützen sollen,<sup>1</sup> indem er ungetheilte Linien nach dem Augenmaafs getheilten Linien gleich zu machen suchte. Für eine gewisse Länge der Linien stimmen auch Beobachtung und Berechnung ziemlich gut überein, aber bei kleineren Linien ist die Differenz fast doppelt so grofs, als sie nach dem aufgestellten Erklärungsprincip sein sollte. Herr KUNDT findet nämlich

Gesichtswinkel für die zu vergleichenden Distanzen	Fehler	
	beobachtet	berechnet
20° 14'	4,40	4,62
19° 41'	3,31	4,47
12° 47'	1,48	0,84

Ich muß hinzufügen, daß die Täuschungen auch bei viel kleineren Figuren bestehen bleiben, bis die Objecte sich der Grenze des deutlichen Sehens nähern, und daß bei so kleinen Objecten ein Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne nicht mehr merklich sein kann. KUNDT selbst hat gefunden, daß zum Beispiel seine *Fig. 4* bis auf 9 Fuß Entfernung die Täuschung zeigte, wobei zwischen den betreffenden Bögen und Winkeln selbst in der 5ten Decimale noch kein Unterschied vorhanden ist.

Ich halte deshalb das von HERING und KUNDT gebrauchte Erklärungsprincip nicht einmal für einen richtigen Ausdruck der Thatfachen. Wollte man es gar als Erklärung der wirklichen Ursache der Erscheinungen auffassen, so müfste man die Annahmen der natavistischen Theorie dahin ausdehnen, daß uns eine Kenntnifs unserer Netzhaut, und zwar nicht nur der räumlichen Anordnung der empfindenden Punkte auf ihr, sondern sogar ihrer Krümmung angeboren sei.

Zu erwähnen ist endlich noch, daß in einer Reihe von Fällen die binoculare Körperanschauung störend auf die Vergleichung der Distanzen im Gesichtsfelde einwirkt. Es macht sich hierbei geltend, daß unser natürliches Sehen Sehen von Körpern ist, und daß alle unsere Uebung darauf abzweckt, die Dimensionen und Lagen der gesehenen Körper richtig zu beurtheilen.

<sup>1</sup> A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen*, 1863, CXX, 118—158.

















verdeckt wird. Sehr gut läßt sich ein entsprechendes Muster auch herstellen mittels verschiedenfarbiger Oblaten, welche man an Stelle der Buchstaben

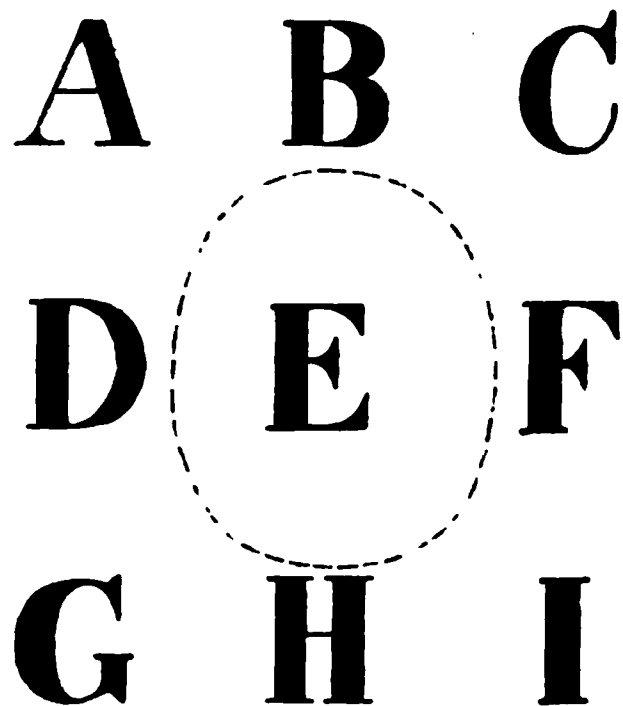


Fig. 227.

hinlegt. An einem Muster, wie *Fig. 227*, sehen VOLKMANN und ich selbst die neun Buchstaben *A B C D F G H I* als Seiten eines Quadrats, in geraden Linien stehend, wie sie wirklich stehen, und die Mitte desselben leer. WITTICH dagegen sieht statt der geraden Seiten des Quadrats vier gegen die Mitte convexe Bögen *ABC*, *CFI*, *IHG*, *GDA*. FUNCKE<sup>1</sup> sieht sie convex wie WITTICH, wenn

keine anderen geraden Linien in der Nähe sind, mit denen er ihre Form vergleichen kann, dagegen gerade gestreckt, wie VOLKMANN, wenn durch *k* oder zwischen *k* und *ADG* eine verticale gerade Linie gezogen wird, oder auch, wenn die Reihe *CFI* durch ein weißes Papier verdeckt wird.

Eine gerade Linie, deren Mitte in die Lücke fällt, erscheint v. WITTICH verkürzt, während E. H. WEBER, VOLKMANN und ich sie unverkürzt sehen. Eine Kreisfläche, die nicht ganz, aber beinahe ganz vom blinden Flecke gedeckt wird, deren Rand man aber ringsum sehen kann, erscheint mir ebenso groß, wie eine ebenso weit nach der Nasenseite des Fixationspunktes liegende ähnliche Fläche. Uebrigens glaube ich, wie schon WEBER und VOLKMANN fanden, die ganze Fläche in der Farbe des Randes zu sehen, 580 selbst wenn von diesem nur ein schmaler Streif außerhalb der Lücke liegt. Ja, wenn die Kreisscheibe von engbedrucktem Papier geschnitten ist, so glaube ich sie in ganzer Ausdehnung mit Buchstaben bedeckt zu sehen, bis ich die Aufmerksamkeit genau auf sie richte, wo ich dann erkenne, daß ich in ihrer Mitte nichts unterscheide.

FUNCKE berichtet, daß wenn die Lücke auf bedrucktes Papier fällt und er sich diesseits und jenseits derselben zwei hervorstechende Buchstaben gemerkt hat, diese einander genähert erscheinen. Auch in diesem Falle sehe ich die Buchstaben in ihrer richtigen Distanz.

Diese Widersprüche lassen sich wohl daraus erklären, daß wir als Ergänzung für die Beurtheilung der räumlichen Dimensionen des Sehfeldes, welche hauptsächlich durch die Bewegungen des Auges erlernt ist, auch noch die WEBERSchen Empfindungskreise berücksichtigen, namentlich für kleine, einander nahe Objecte, für welche die erstere Art der Beurtheilung vielleicht unvollkommenere Data giebt. Ob zwei seitlich liegende schwarze

<sup>1</sup> FUNCKE, *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III. Heft 3, S. 12 u. 13.













Der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel ist also durch die Eigenschaft charakterisirt, daß wenn in ihm ein kleines, zur Axe senkrechtes (virtuelles) Object ist, dessen Bild bei den Veränderungen der Accommodation seinem Abstände von der Netzhaut proportional wächst.

Wenn man für die mittleren Werthe der optischen Constanten des fernsehenden und nahesehenden Auges, welche auf S. 140 gegeben sind, die Lage dieses Punktes berechnet, so findet man seinen Abstand gleich 2,942 Millimeter von der Netzhaut, so daß er fast genau zusammenfällt mit dem vorher berechneten Kreuzungspunkt der Visirlinien des fernsehenden Auges, dessen Abstand gleich 3,36 Mm. von der Hornhaut gefunden war. Bei den praktischen Anwendungen können wir daher beide Punkte als zusammenfallend betrachten, besonders da so kleine Unterschiede, wie der hier gefundene, bei dem bisher erreichbaren Grade der Genauigkeit unserer Kenntniß der optischen Constanten des Auges nicht zu bürgen sind.

Für die Größe der Gesichtswinkel des unbewegten Auges würde es danach keinen Unterschied machen, ob wir seine Accommodation den zu beobachtenden Punkten anpassen oder das Auge für unendliche Ferne einrichten.

J. B. LISTING<sup>1</sup> hat den Unterschied des Winkels, den zwei von zwei Objectpunkten nach dem Knotenpunkte des Auges gezogene Linien bilden, von dem Winkel, welchen die von denselben Objectpunkten nach dem Drehpunkte des Auges gezogenen Linien bilden, die Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der Objecte bei directem und indirectem Sehen genannt. Ich werde es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, daß als Spitze des ersten Winkels der Kreuzungspunkt der Visirlinien<sup>2</sup> gebraucht würde, weil zwei punktförmige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lagen haben, wenn sie in derselben Visirlinie liegen.

Diese Parallaxe ist gleich Null, wenn die Objecte unendlich entfernt sind; weil für unendlich weit entfernte Objecte die Schenkel der beiden zu vergleichenden Winkel einander paarweise parallel werden. Ist nun das eine Object unendlich entfernt, so bezeichnet die genannte Parallaxe, um wie viel sich scheinbar das nähere Object vor einem unendlich entfernten Hintergrunde verschiebt, wenn man den Blick auf dasselbe hinrichtet.

Um für diesen verhältnißmäßig einfachsten Fall die Größe der genannten Parallaxe vergleichen zu können mit den Ungenauigkeiten der Accommodation, sei

Fig. 229  $o$  der Drehpunkt des Auges,  $oc = oe = \sigma$  die Entfernung des Kreuzungspunktes der Visirlinien. In der Richtung  $oa$  liege das fernere Object,  $b$  sei das nähere, so wird  $b$ , wenn direct fixirt wird, in der Richtung  $bg$  erscheinen und die in dieser Richtung liegenden Punkte des unendlich entfernten Hintergrundes decken. Wenn er in der Richtung  $oa$  fixirt wird, wird der Kreuzungspunkt

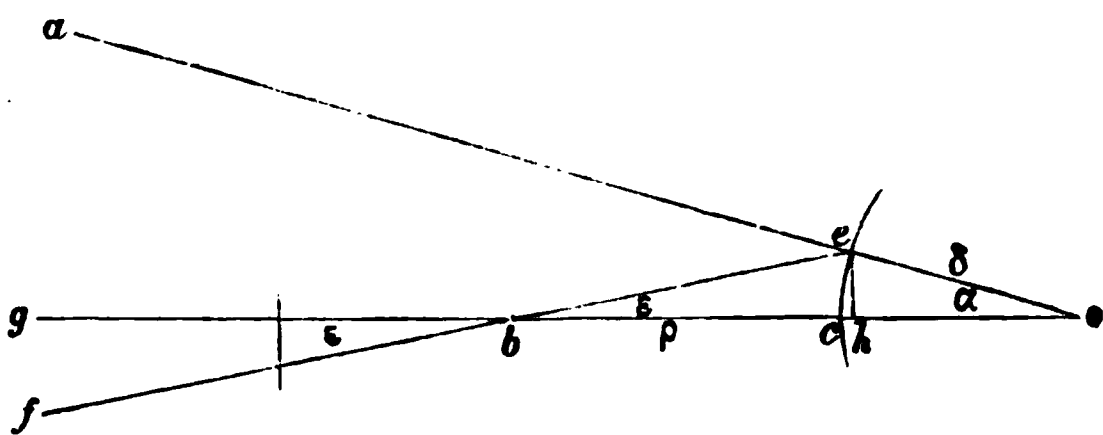


Fig. 229.

<sup>1</sup> J. B. LISTING, *Beitrag zur physiologischen Optik*. Göttingen 1845. S. 14–16.

<sup>2</sup> Bei LISTING sind Visirlinien die vom Objecte nach dem Drehpunkt des Auges gezogenen Linien.



Ich lasse hier noch zwei wichtige Actenstücke für die Lehre von dem Ursprunge der Gesichterscheinungen folgen, welche die Beobachtungen von CHESELDEN und WARDROP an zwei Blindgeborenen berichten, denen erst in einem Alter das Gesicht durch eine Operation wiedergegeben wurde. CHESELDEN berichtet einen Knaben von 13 Jahren, welcher mit sehr stark getrübbten Krystall- (grauem Staar) geboren war.

CHESELDEN<sup>1</sup> berichtet Folgendes über seine Fähigkeit, Formen zu unter- 587  
suchen: „Anfangs, nachdem er sein Gesicht bekommen hatte, wußte er so wenig von Entfernungen zu urtheilen, daß er sich vielmehr einbildete, alle Sachen, die er berührte, berührten seine Augen, wie das, was er fühlte, seine Haut. Keine Sachen empfand ihm so angenehm, als glatte und regelmässige (vielleicht wegen des einseitigen und leichter zu analysirenden Gesichtseindrucks, oder wegen des Glanzes?), wiewohl von ihrer Gestalt nicht urtheilen oder errathen konnte, was ihm an einer Sache gefiele. Er machte sich keinen Begriff von der Gestalt irgend einer Sache, unterschied auch keine Sache von der anderen, so verschieden sie auch an Gestalt und Grösse waren; wenn man ihm aber sagte, was das für Dinge wären, die er zuvor durchs Gefühl erkannt hatte, so betrachtete er sie sehr aufmerksam, um sie wieder zu kennen; weil er aber auf einmal zu viel Sachen zu lernen hatte, so vergaß er immer wieder viel davon und lernte, wie er sagte, in einem Tage tausend Sachen zu kennen und vergaß sie wieder. Zum Exempel, er hatte oft vergessen, was die Katze und welches der Hund war, und schämte sich darum weiter zu forschen; fing also die Katze, die er durch das Gefühl kannte, betrachtete sie sehr aufmerksam, setzte sie nieder und sagte: „So, Miezchen, nun will ich dich ein andermal wieder sehen.“ — Man glaubte, er würde bald verstehen lernen, was Gemälde vorstellten, und setzte sich aber das Gegentheil. Denn zwei Monate, nachdem ihm der Staar entfernt worden war, machte er plötzlich die Entdeckung, daß sie Körper mit Erhöhungen und Vertiefungen darstellten; bis dahin hatte er sie nur als buntscheckige Flächen angesehen. Dabei aber erstaunte er nicht wenig, daß sich die Gemälde so anfühlen ließen, wie die Dinge, welche sie vorstellten, und daß die Flächen, welche durch ihr Licht und Schatten rund und uneben aussahen, flach, wie die ursprünglichen, anzufühlen waren. Er fragte, welcher von seinen Sinnen ihn betröge, das Gefühl oder das Gesicht. Als man ihm seines Vaters Bild in einem Anhänge einer Mutter Uhr zeigte und ihm sagte, was es wäre, erkannte er es für sich, wunderte sich aber sehr, daß ein großes Gesicht sich in einem so kleinen Rahmen vorstellen ließe, welches ihm, wie er sagte, so unmöglich würde geschienen, als einen Scheffel in eine Metze zu bringen.

Anfangs konnte er wenig Licht vertragen und hielt alles, was er sah, für sehr klein; als er aber größere Sachen sah, hielt er jene für kleiner, weil er nicht gar keine Linien außerhalb des Umfangs, den er sah, vorstellen konnte. Als man ihm das Zimmer, worin er wäre, ein Theil des Hauses sei, sagte er, wußte er nicht, wiewohl er konnte aber nicht begreifen, wie das ganze Haus größer als das Zimmer sein konnte.

Ein Jahr, nachdem er sein Gesicht wiedererhalten hatte, brachte man ihn auf die Dünen von Epsom, wo er eine weite Aussicht hatte; diese ergötzte ihn sehr und war ihm, wie er sagte, eine neue Art von Sehen.

Als ihm der Staar an dem andern Auge gestochen ward, kamen ihm, wie

CHESELDEN, *Phil. Transact.* 1728. XXXV, p. 447: *Smith Opticks Remarks*, p. 27.













































tigt werden kann, daß von dieser hypothetischen Empfindung sich gar mehr merklich macht.

ines Erachtens hat der Streit über den Grund des Aufrechtsehens psychologische Interesse zu zeigen, wie schwer selbst Männer von der wissenschaftlicher Befähigung sich dazu verstehen, das subjective in unseren Sinneswahrnehmungen wirklich und wesentlich anzunehmen und in ihnen Wirkungen der Objecte zu sehen, statt unveränderter (sit venia verbo) der Objecte, welcher letztere Begriff offenbar sich widerspricht.

Wir haben bisher nur untersucht, in welchen Richtungen wir weit entfernte Objecte zu sehen glauben; es bleibt noch übrig, das Centrum zu finden, auf welches diese Richtungslinien bezogen werden, was namentlich Beurtheilung der Richtung naher Objecte nicht gleichgültig ist. Gegen ist früher die Annahme gemacht worden, daß jedes Auge die nahen Gegenstände in Richtung der auf Seite 91 definirten Richtungslinie nach außen setze, wonach dann die Richtungen, in denen nahe Gegenstände gesehen werden, im Allgemeinen für beide Augen verschieden werden. In dieser Beziehung hat E. HERING auf eine merkwürdige Erscheinung aufmerksam gemacht, vermöge deren wir die Richtung der gegenwärtigen Gegenstände so wahrnehmen, als ob beide Augen in der Mittelebene des Kopfes ständen und auf ihren gemeinsamen Fixationspunkt gerichtet

wären. Mögen im Anfang beide Augen *A* und *B*, Fig. 228, hinausblicken in dieselben Richtungen *Aa* und *Bb*,

und wenn das Auge *B* aber möge dann geschlossen werden,

während *A* noch immer das weit entfernte Object *a* fixirt.

Die Richtungen beider Augen also unverändert bleiben. Man sieht *a* unter denselben Umständen in richtiger Richtung.

Accommodire man *A* für einen nahen gelegenen Punkt *f* der Linie *Aa*, bei also die Lage des Auges *A* unverändert, so wie die Richtung der Gesichtslinie *Aa*, so wie

das Netzhautbildes von *a* auf der Netzhaut des Auges *A*, ganz unverändert bleiben und das Netzhaut-

bild nur etwas weniger scharf

ausfällt. Der Erfolg ist, daß eine Scheinbewegung des Objectes *a* dadurch es etwa in die Richtung *Ac* hinübrückt. So wie man für unendliche Ferne accommodirt, weicht *a* scheinbar an seinen Platz zurück.

Verändert sich bei diesem Versuche durchaus nicht die Richtung der Gesichtslinie *Aa*, wenigstens nicht um eine bemerkbare und in Betracht

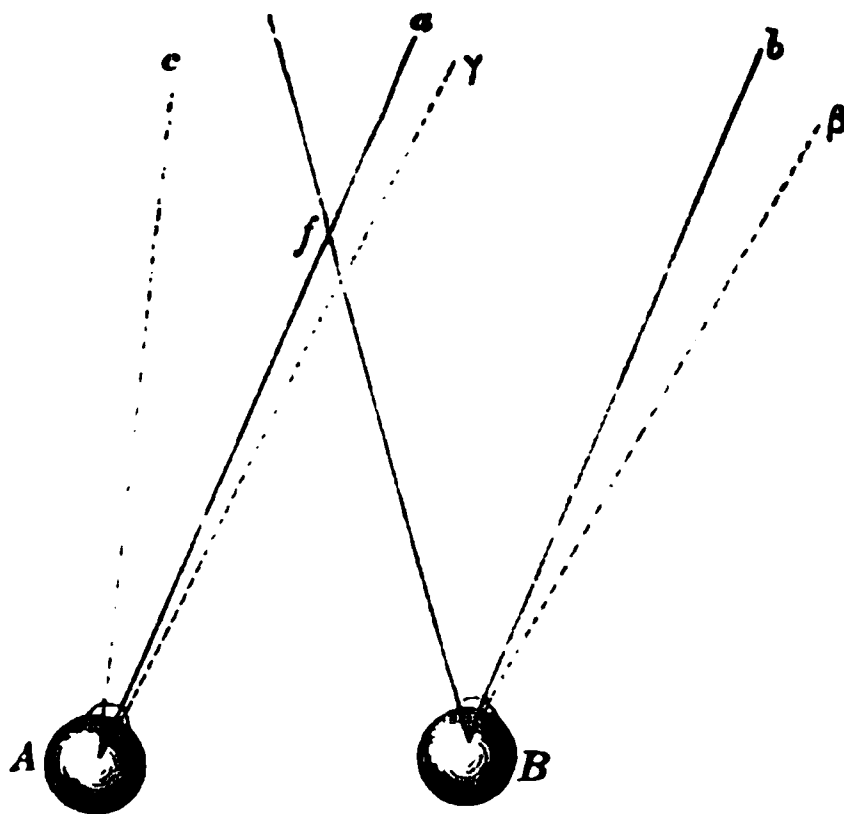


Fig. 228.





























































Wenn zwei Fäden in verschiedener Entfernung gleichzeitig aus-  
ant wurden, ergaben sich dieselben Resultate wie für die Annäherung  
Fadens.

Ich habe am Ende einer innen geschwärzten Röhre einen schwarzen  
a mit zwei senkrechten Spalten angebracht, dann den einen mit einem  
i, den andern mit einem blauen Glase geschlossen. Ich bedurfte einer  
ich stärkeren Accommodationsanstrengung, um den rothen Streifen  
ch zu sehen, als für den blauen. Nach langen Vergleichen beider  
en entstand auch endlich der Eindruck, als wäre der rothe Streifen  
der blaue ferner, aber die Täuschung trat schwer ein und schwand  
wieder, sie liefs sich nur durch fortdauernd wechselnde Accommodation  
en einen und den andern Streifen unterhalten. Die Täuschung liefs  
dadurch unterstützen, dafs ich den rothen Streifen etwas breiter machte  
um auch dadurch das Ansehen eines näheren Objectes gab.

Wichtiger aber und genauer als die genannten Hilfsmittel, die  
nungen zu schätzen, ist die Vergleichung der perspectivischen Bilder,  
derselbe Gegenstand, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen,  
tet. Eine solche Vergleichung kann praktisch in doppelter Weise zu  
kommen, entweder monocular bei Fortbewegung des Kopfes und  
rs, oder binocular mittels der beiden verschiedenen Bilder, welche  
Augen gleichzeitig von demselben Gegenstande geben. Da die beiden  
etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so sehen sie auch die  
is liegenden Gegenstände von zwei etwas verschiedenen Gesichtspunkten  
nd erzeugen dadurch eine ähnliche Verschiedenheit der Bilder, wie sie  
Fortbewegung im Raume nach einander hervorgebracht wird.

Venn wir vorwärts gehen, so bleiben die Gegenstände, welche sich am  
ruhend befinden, hinter uns zurück; sie gleiten in unserem Gesichts-  
scheinbar an uns vorbei, und zwar in entgegengesetzter Richtung, als  
rtschreiten. Entferntere Gegenstände thun dasselbe, aber langsamer,  
nd sehr entfernte Gegenstände, wie die Sterne, ruhig ihren Platz im  
itsfelde behaupten, so lange wir die Richtung unseres Körpers und  
s beibehalten. Es ist leicht ersichtlich, dafs die scheinbare  
windigkeit der Winkelverschiebungen der Gegenstände im Gesichtsfelde  
i ihrer wahren Entfernung umgekehrt proportional sein mufs, so dafs  
er Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung sichere Schlüsse auf die 635  
Entfernung gemacht werden können.

Die Gegenstände verschiedener Entfernung verschieben sich dabei auch  
bar gegen einander. Die entfernteren gehen im Vergleich zu den  
en scheinbar in Richtung des Beobachters vorwärts, die näheren  
ehrt scheinbar zurück. Dadurch entsteht eine sehr deutliche Anschauung  
verschiedenen Entfernung. Wenn man zum Beispiel in einem  
n Walde still steht, ist es nur in undeutlicher und gröberer Weise  
ch, das Gewirr der Blätter und Zweige, welches man vor sich hat,  
nen und zu unterscheiden, welche diesem und jenem Baume angehören,



























welcher die kleinsten Abstände von einem und demselben Auge gesehen werden.

Sehr kleine Unterschiede, herrührend von der verschiedenen Brechbarkeit verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, kommen auch zur Wirkung nach einer Bemerkung von BREWSTER, wenn man durch eine Convexlinse von zwei bis drei Zoll Breite nach einem rothen und einem blauen Objecte hinsieht, die in gleicher Entfernung vom Beobachter sich befinden. Dann erscheint das rothe näher als das blaue.

Die stereoskopische Unterscheidbarkeit der Tiefendistanzen nimmt für entferntere Gegenstände schnell ab. Das mathematische Gesetz dafür hat eine ähnliche Form, wie das für die Bilder von Convexlinsen. Es sei  $r$  die Distanz des entfernteren Punktes vom Auge,  $\varrho$  die des näheren, und  $f$  eine Constante, von der die Genauigkeit abhängt, so ist die Tiefendistanz der Punkte unterscheidbar, wenn

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}.$$

Nach den eben angeführten Messungen können wir den Werth von  $f$  gleich oder grösser als 240 Meter setzen. Setzen wir statt  $r$  den Abstand des Objects, statt  $\varrho$  den Abstand des Bildes von einer convexen Linse, deren negative Brennweite gleich  $f$  ist, so wird

$$\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}.$$

Wenn man also irgend einen Gegenstand durch eine äusserst schwache Concavlinse von 240 Meter negativer Brennweite ansehen würde, so würde das Bild des Gegenstandes an der Stelle des entferntesten Objects liegen, welches stereoskopisch noch, als vor jenem ersten liegend, erkannt werden könnte. Wer daran gewöhnt ist, die Lage der Linsenbilder zu übersehen, 646 wird hierdurch gleich erkennen, daß in der Entfernung nur sehr große Tiefendimensionen, in der Nähe dagegen sehr kleine erkannt werden können.

Die Grösse  $f$  in dieser Formel bezeichnet die weiteste Distanz, in welcher ein Object stereoskopisch noch von unendlich weit dahinter gelegenen Gegenständen unterschieden werden kann.

Ueber die Energie, mit welcher die stereoskopische Vergleichung der Netzhautbilder die Vorstellung verschiedener Entfernung giebt, im Vergleich mit den übrigen Hilfsmitteln des Sehens, ist namentlich eine Abänderung des Stereoscops, das Pseudoskop, lehrreich. Dieses Instrument ist dazu bestimmt, die binocularen Bilder wirklicher Gegenstände so zu verändern, daß man falsche stereoskopische Reliefs davon erhält. Das Pseudoskop von WHEATSTONE enthält zwei rechtwinkelige Glasprismen, deren Kanten rechtwinkelig zur Visirebene gestellt sind, und durch welche der Beobachter





















der Gesichtslinien davon unterscheidet, dem Eindruck weit entfernter reeller Objecte auf das Auge.

Wegen der Unvollkommenheit, mit der wir den Grad der Convergenz beurtheilen, können nun auch Täuschungen in der Beurtheilung der zwei-äugig gesehenen Raumformen vorkommen, indem wir eine Interpretation der Gesichterscheinungen machen, welche für eine andere Convergenz passend wäre, aber nicht für die wirklich stattfindende richtig ist. Am auffallendsten ist dies an solchen Gegenständen, deren Netzhautbilder bei verschiedenen Graden der Convergenz gleich guten Sinn haben würden. Man befestige zum Beispiel an einem hoch über und vor unserem Auge gelegenen horizontalen Querbalken in einigen Zollen Entfernung von einander drei Nägel, hänge an diesen drei feine schwarze Seidenfäden mittels loser weiter Schleifen auf und spanne sie durch kleine Gewichte. Zunächst richte man die Fäden so, daß alle drei in einer Ebene hängen. Dann setze man sich gerade vor die Fäden um Armeslänge von ihnen entfernt, so daß der mittlere in der Medianebene des Gesichtes liegt und die Ebene der Fäden senkrecht zu dieser Medianebene sei. Hinter den Fäden muß sich in größerer Entfernung ein gleichmäßig gefärbter Grund ohne besonders markirte Punkte befinden. Man betrachte die Fäden aufmerksam, ob sie wohl wirklich in einer Ebene zu liegen scheinen; es zeigt sich dann, daß der mittlere scheinbar von der Ebene der beiden andern sich befindet, desto mehr je näher man das Gesicht den Fäden bringt. Nun schiebe man den mittleren Faden etwas zurück, so daß die Fäden in einer gegen den Beobachter concaven Cylinderfläche liegen, und setze sich wieder davor. Betrachtet man sie nun aus größerer Entfernung, so erscheinen sie in einer gegen den Beobachter concaven Fläche zu liegen; nähert man sich mehr, so wird diese eben, endlich bei noch größerer Annäherung tritt der mittlere Faden, obgleich er hinter der Ebene der beiden andern liegt, scheinbar vor die Ebene der beiden andern nach vorn heraus. Die Entfernung, aus der die Fäden als eine Ebene erscheinen, ist für verschiedene Beobachter sehr verschieden. Herr E. HERING, der diesen Versuch durch Anwendung von Fäden verbessert hat, nachdem ich ihn schon zuvor mit Nadeln in der oben beschriebenen Weise ausgeführt hatte, findet, daß er sich um die ganze Länge des Durchmessers des durch die Fäden zu legenden geraden kreisförmigen Cylinders entfernen müsse, um die Fäden in einer Ebene zu sehen, und bringt dies mit seiner Horoptertheorie in Zusammenhang, wovon weiter unten mehr. Ich selbst sehe aus einer solchen Entfernung die Fläche der Fäden noch deutlich concav gegen mich hin, ebenso die Hrn. BERTHOLD, BERNSTEIN und DASTICH, die in meinem Heidelberger Laboratorium darüber Versuche anstellten. Die Hrn. BERTHOLD und DASTICH mußten sich bis etwa zur Hälfte jenes 655 Durchmessers nähern, ich selbst noch mehr, nämlich auf etwa  $\frac{3}{10}$ , ehe ich die Fäden in einer Ebene erblickte; am nächsten mußte Hr. BERNSTEIN herangehen. Das Verhältniß blieb für verschiedene Entfernungen der Fäden von einander und für verschiedene Abstände des mittleren Fadens von der







geschnitzten Papierschneider, und selbst wenn ich seinen am stärksten gekrümmten Rand den Fäden zuwendete, liefs er die Täuschung über deren Stellung fast ganz schwinden.

Da es sehr schwierig ist, aufer durch Maschinen eine hinreichend genaue Uebereinstimmung der verticalen Linien in stereoskopischen Bildern hervorzubringen, habe ich Versuche über den Einfluss der Convergenz noch in folgender Weise angestellt. Ich habe zwei rechtwinkelige Prismen neben einander befestigt, so dafs ihre Querschnitte wie die rechtwinkligen Dreiecke in *Fig. 234* liegen, dafs ihre Kanten einander parallel und zwei ihrer Kathetenflächen unter einem

kleinen Winkel  $\alpha$  gegen einander geneigt sind. Trifft der Strahl  $af$  bei  $b$  nahehin senkrecht auf eine Kathetenfläche solcher Prismen, so wird der Strahl zwei Mal bei  $c$  und  $d$  reflectirt, wie die Figur anzeigt, und tritt schliesslich aus der letzten Fläche in der Richtung  $eg$  von seiner ersten Richtung

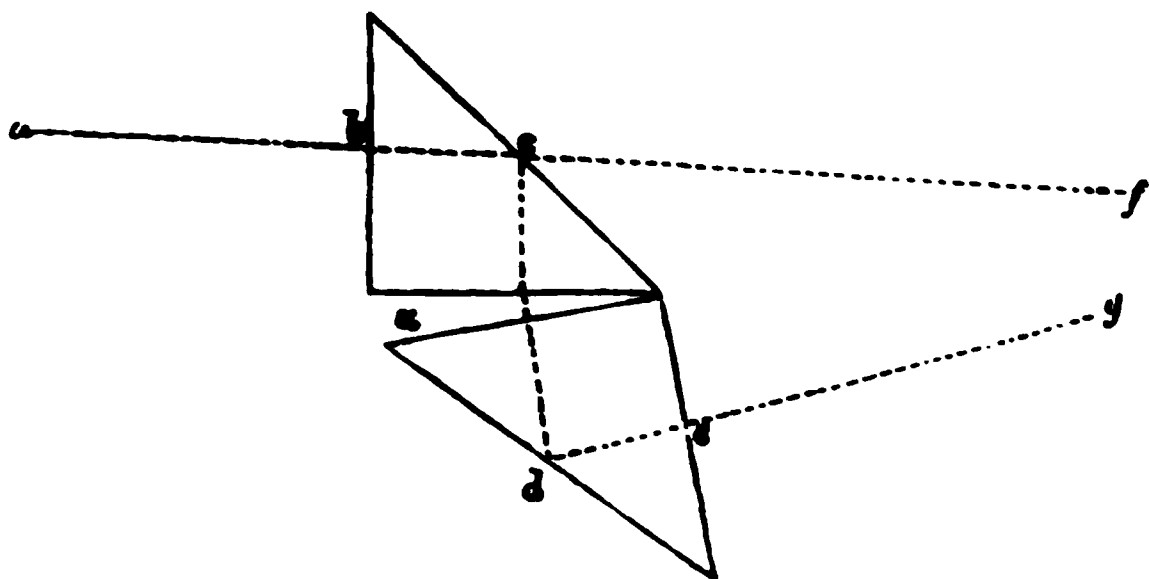


Fig. 234.

aus um einen Winkel abgelenkt, der das Doppelte des Winkels  $\alpha$  beträgt.<sup>1</sup> Wenn man in der angegebenen Weise durch ein solches Doppelprisma bei senkrechter Stellung seiner Kanten blickt, so sieht man genau dasselbe Netzhautbild, wie mit bloßem Auge, aber um es zu sehen, muß man das Auge etwas mehr nach rechts oder links wenden, als es ohne das Prisma nöthig wäre.

Blickt man durch ein solches Prisma nach drei parallelen verticalen Fäden, die in einer Ebene sich befinden und deren mittelster daher den unbewaffneten Augen ein wenig vor die Ebene der beiden anderen vorzutreten scheint, so muß man die Augen, je nachdem man die Fläche  $b$  oder  $e$  des Prisma ihm zukehrt, mehr convergiren oder mehr divergiren lassen, als vorher, sieht aber genau dieselben Netzhautbilder. Im Falle die Divergenz vergrößert wird, erscheint der mittlere Faden noch stärker vortretend als bisher; im Falle die Convergenz vermehrt wird, tritt er in die Ebene der andern scheinbar zurück, oder sogar hinter dieselbe. Da die Prismenzusammenstellung eine ganz geringe telestereoskopische Wirkung hat, so bringe man für Convergenz die Fläche  $e$  vor das rechte, für Divergenz  $b$  vor das rechte Auge; oder man bringe nach einander beide Flächen vor das

<sup>1</sup> Es ist hierbei keine Verzerrung des Bildes durch die Brechung an den Glasflächen zu fürchten, wie sie bei schiefwinkligen Prismen vorkommt und bei stereoskopischen Versuchen sehr störend werden kann, weil die Veränderungen nur derselben Art sind, wie sie beim Sehen senkrecht durch eine dicke planparallele Glasplatte vorkommen; in der Mitte des Bildes verschwindend klein und nach den Seiten hin symmetrisch, so dafs sie bei den hier zu machenden Versuchen nicht stören können.

















darzustellen ist. Um die Lage dieser Punkte zu bezeichnen, wollen wir rechtwinkelige Coordinaten benutzen, welche bezüglich der Visirebene, der Medianebene und der Ebene, der zu machenden Zeichnung parallel seien, deren Mittelpunkt  $O$  der Durchschnittpunkt der drei genannten Ebenen ist. Und zwar sei  $OA$  die Richtung der positiven  $x$ ,  $OD$  die der positiven  $z$ , die  $y$  senkrecht zur Ebene des Papiers. Bezeichnen wir demgemäß die Coordinaten

1) des Punktes  $P$ 

$$\text{mit } \begin{aligned} x &= +a \\ z &= -b \\ y &= 0 \end{aligned}$$

2) des Punktes  $Q$ 

$$\begin{aligned} x &= -a \\ z &= -b \\ y &= 0 \end{aligned}$$

3) des Punktes  $S$ 

$$\text{mit } \begin{aligned} x &= \alpha \\ y &= \beta \\ z &= \gamma \end{aligned}$$

4) des Punktes  $R$ 

$$\text{mit } \begin{aligned} x &= \xi_0 \\ y &= v_0 \\ z &= 0 \end{aligned}$$

5) des Punktes  $T$ 

$$\begin{aligned} x &= \xi_1 \\ y &= v_1 \\ z &= 0. \end{aligned}$$

so sind die Bedingungen dafür, daß die Punkte  $P, R, S$  in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\beta}{\beta - v_0} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \dots \dots \dots 1)$$

und die Bedingungen, daß  $Q, T, S$  in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1} = \frac{\beta}{\beta - v_1} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \dots \dots \dots 2).$$

Zunächst zeigt sich, daß

$$v_0 = v_1 = \frac{\beta b}{\gamma + b} \dots \dots \dots 1a),$$

daß also in beiden Bildern die Höhen entsprechender Punkte über der Horizontallinie  $AB$  gleich groß sein müssen.

Die beiden Gleichungen ergeben ferner

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \alpha - \frac{\gamma (\alpha - a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b + \gamma a}{b + \gamma} \\ \xi_1 &= \alpha - \frac{\gamma (\alpha + a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b - \gamma a}{b + \gamma} \end{aligned}$$





ein wenig, entsprechend dem Tiefenabstande. So erhält man zwei Zeichnungen, welche stereoskopisch combinirt ein körperliches Relief zeigen.

Wenn zwei Punkte von verschiedenem Abstände  $\varrho$ , und  $\varrho''$  stereoskopisch projectirt sind und die entsprechenden stereoskopischen Differenzen mit  $e$ , und  $e''$  667 bezeichnet werden, so ist

$$e - e'' = 2ab \left( \frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\varrho''} \right) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot 2a)$$

Nehmen wir hierin für  $e - e''$  den kleinsten in der Zeichnung erkennbaren Abstand, so erhalten wir zusammengehörige Werthe der Abstände  $\varrho$ , und  $\varrho''$ , welche an der Grenze der erkennbaren Unterschiede liegen. Setzen wir zur Abkürzung

$$\frac{2ab}{e - e''} = f,$$

so wird die Gleichung 2a)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\varrho''}$$

die oben für diesen Fall gegebene Formel. Wenn wir die mittlere geometrische Proportionale zwischen  $\varrho$ , und  $\varrho''$  mit  $r$  bezeichnen, so läßt sich die letzte Formel auch schreiben

$$\varrho'' - \varrho = \frac{r^2}{f},$$

d. h. die stereoskopisch unterscheidbaren Unterschiede der Entfernung wachsen wie die Größe des Quadrats der mittleren Entfernung  $r$ .

Um die Veränderungen zu übersehen, welche das stereoskopische Relief bei verschiedenen Verschiebungen der Bilder liefert, müssen wir die scheinbaren Coordinaten des Objectpunktes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ausdrücken durch die Coordinaten seiner beiden Bilder  $\xi$ ,  $\xi''$ ,  $v$ . Aus den obigen Gleichungen 1) und 2) ergibt sich

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1}$$

oder

$$\alpha = \frac{a(\xi_1 + \xi_0)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\beta = \frac{2va}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\gamma = \frac{b(\xi_0 - \xi_1)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

oder wenn wir wie vorher die stereoskopische Differenz

$$2a + \xi_1 - \xi_0 = e$$

setzen und das arithmetische Mittel von  $\xi_0$  und  $\xi_1$  mit  $\xi$  bezeichnen, so ist

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \xi \frac{2a}{e} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \beta &= v \frac{2a}{e} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \varrho &= r + b = b \frac{2a}{e} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \end{aligned} \right\} 3a).$$

668 Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen beide nach einer Seite bewegen, also  $\xi$  vergrößern, während  $e$ ,  $v$ ,  $b$  unverändert bleiben, so vergrößern sich die Werthe von  $\alpha$ , während  $\beta$  und  $\varrho$  unverändert bleiben. Die Vergrößerung von  $\alpha$  ist aber im Verhältniß  $\frac{2a}{e}$  größer als die von  $\xi$ . Eliminiren wir die stereoskopische Differenz  $e$  aus der ersten und dritten Gleichung, so wird

$$\alpha = \varrho \cdot \frac{\xi}{b}.$$

Die Vergrößerungen von  $\alpha$  sind also auch proportional der scheinbaren Entfernung  $\varrho$  des Objectpunktes; d. h. also die Punkte, welche vor der Verschiebung scheinbar gerade hinter einander lagen, d. h. gleiche Werthe von  $\xi$  hatten, liegen nach der Verschiebung in einer geraden Linie, die durch den mitten zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegenden Punkt zu ziehen ist.

Wenn wir ein Paar zusammengehöriger stereoskopischer Zeichnungen, die auf einem Blatte ausgeführt sind, von dem Auge entfernen, also  $b$  vergrößern, während  $\xi$ ,  $v$ ,  $e$  und  $a$  unverändert bleiben, so bleiben die Werthe von  $\alpha$  und  $\beta$  unverändert, die Tiefendimension  $\varrho$  aber wächst in demselben Verhältnisse wie  $b$ . Man beobachtet dies in der That leicht, wenn man ein solches Paar stereoskopischer Bilder mit parallelen Gesichtslinien zur Coincidenz bringt; ihr Relief wird desto tiefer, je weiter man die Bilder vom Auge entfernt.

Um endlich die Veränderungen übersehen zu können, welche eintreten, wenn man die stereoskopischen Zeichnungen einander nähert oder von einander entfernt, schreiben wir die Gleichungen 3a) in folgender Form

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha}{\varrho} &= \frac{\xi}{b} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \frac{\beta}{\varrho} &= \frac{v}{b} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \\ \frac{1}{\varrho} &= \frac{e}{2ab} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \end{aligned} \right\} 3b)$$

und bemerken dabei, daß  $2\xi = \xi_0 + \xi_1$  und  $e = 2a + \xi_1 - \xi_0$  ist. Wenn man nun das rechte Bild nach links, das linke nach rechts schiebt um die Länge  $\eta$ , so

verkleinert man  $\xi_0$  und vergrößert  $\xi_1$  um die Länge  $\eta$ , folglich bleibt  $\xi$  (so wie auch  $v$ ) ungeändert, während der Werth von  $e$  um  $2\eta$  wächst. Nennen wir nun  $\alpha_1, \beta_1$  und  $\varrho_1$  die Werthe von  $\alpha, \beta, \varrho$  welche nach dieser Verschiebung gelten, so verwandeln sich die Gleichungen 3b) in folgende

$$\frac{\alpha_1}{\varrho_1} = \frac{\xi}{b}, \quad \frac{\beta_1}{\varrho_1} = \frac{v}{b}$$
$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{e + 2\eta}{2ab}.$$

Drückt man in diesen nun  $\xi, v$  und  $e$  durch ihre Werthe in 3b) aus, so erhält man

$$\left. \begin{aligned} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} &= \frac{\alpha}{\varrho} \dots \dots \dots \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} &= \frac{\beta}{\varrho} \dots \dots \dots \\ \frac{1}{\varrho_1} &= \frac{1}{\varrho} + \frac{\eta}{ab} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} 4).$$

Hierin sind  $\alpha, \beta, \varrho$  die ursprünglichen Coordinaten des betreffenden Object- 669 punktes, bezogen auf ein Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt in der Mitte zwischen den Mittelpunkten beider Augen liegt und den wir den Gesichtspunkt nennen wollen,  $\alpha_1, \beta_1$  und  $\varrho_1$  sind die entsprechenden Coordinaten für die scheinbare Lage des Punktes, welche er nach der gegenseitigen Näherung der richtigen stereoskopischen Projectionen hat. Durch die Gleichungen 4) ist für jeden Punkt die Lage seines Bildes nach solcher Verschiebung eindeutig gegeben. Die ersten beiden Gleichungen sagen aus, daß der scheinbare und wahre Ort des Punktes beide in der gleichen vom Mittelpunkt der Coordinaten aus gezogenen geraden Linie liegen. Die dritte Gleichung zeigt an, daß seine Entfernung von der durch beide Augen gelegten Verticalebene verändert, und zwar bei positiven Werthen von  $\eta$  verringert ist. Setzen wir die Gröfse  $\frac{ab}{\eta} = p$ , so wird die letzte Gleichung

$$\frac{1}{\varrho_1} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{p} \dots \dots \dots 4 a)$$

dieselbe, welche die Entfernungen des Objects  $\varrho$  und seines Bildes  $\varrho_1$  für eine Concavlinse von der Brennweite  $p$  geben würde.  
Für unendlich weit entfernte Punkte wird  $\varrho = \infty$  und  $\varrho_1 = p$ .  
Es bezeichnet also  $p$  die Entfernung der Ebene, auf der sich alle unendlich weit entfernten Punkte des Originals abbilden, welche wir mit BREYSIG die Hauptebene nennen können.

Wenn der Objectpunkt  $\alpha, \beta, \varrho$  irgend einen Punkt einer bestimmten Ebene bezeichnet, also für ihn eine Gleichung von der Form existirt

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \dots \dots \dots 5),$$







punkte gleich weit von einander entfernt sind wie die Mittelpunkte beider Augen, so wachsen dadurch die Gröſſen  $e$ ,  $\xi$  und  $v$  der Gleichungen 3 a) in demselben Maasse, wie die scheinbare Entfernung des Bildes  $b$ ; es bleiben demnach die Werthe der Gröſſen  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\varrho$  ungeändert. Solche Linsen verändern also nicht die scheinbare Lage und Gröſſe des stereoskopischen Reliefs. Es ist dies wichtig wegen der Brillengläser, welche, wenn sie richtig gestellt sind, keine Gröſſenveränderung im Gesamtbilde hervorbringen, trotzdem jedes einzelne optische Bild in der That vergrößert oder verkleinert ist.

Damit aber Brillengläser richtige Gröſſen und Entfernungen der Objecte zeigen, ist es wesentlich nöthig, daß ihre optischen Mittelpunkte gerade so weit von einander entfernt sind, wie die Knotenpunkte der parallel gestellten Augen. Wenn in *Fig. 236*  $a_0$  der optische Mittelpunkt eines concaven Brillenglases ist,  $b$  das Object,  $a_0 f_0$  die optische Axe des Glases, so liegt das Bild  $\beta_0$  von  $b$  in der Verbindungslinie von  $a_0$  mit  $b$ ; und wenn man von  $b$  und  $\beta_0$  die Lothe  $b f_0$  und  $\beta_0 \varphi_0$  auf die optische Axe fällt, die Brennweite des Glases mit  $p$  bezeichnet und alsdann setzt

$$a_0 f_0 = r \quad a_0 \varphi_0 = s,$$

so ist nach den Theoremen des § 9, S. 84:

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{s} = -\frac{1}{p}.$$

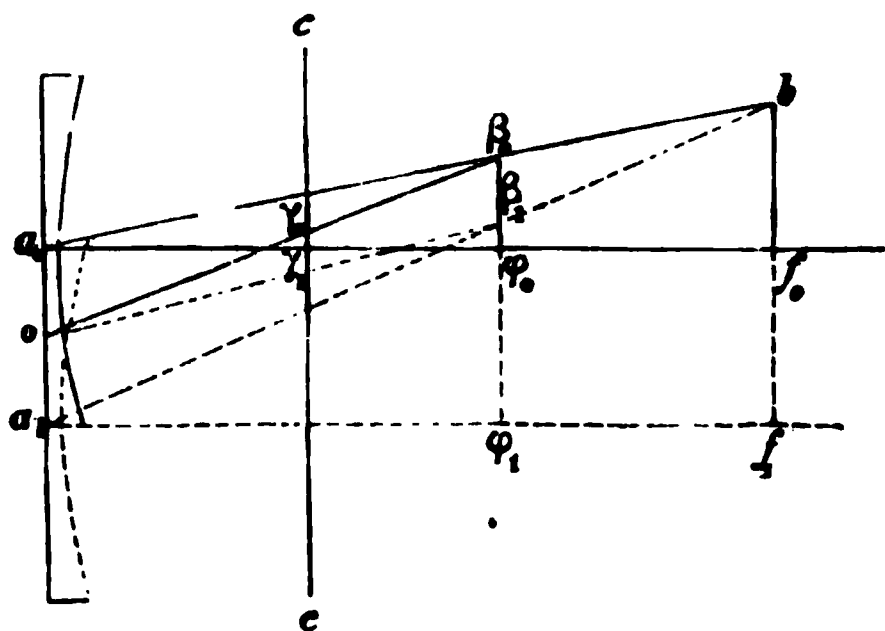


Fig. 236.

Dadurch ist die Lage von  $\beta_0$  gegeben. Wenn nun die Linse parallel ihrer Hauptebene verschoben wird, so daß ihr optischer Mittelpunkt in  $a_1$  und ihre optische Axe in  $a_1 f_1$  liegt, so wird das Bild von  $b$  in die Verbindungslinie von  $b$  mit  $a_1$  rücken, übrigens in dem Lothe  $\varphi_0 \beta_0$  bleiben. Das Bild verschiebt sich also um die Länge

$$\beta_0 \beta_1 = a_0 a_1 \times \frac{\varphi_0 f_0}{a_0 f_0} = \alpha \cdot \frac{r - s}{r},$$

wenn wir die Verschiebung des Glases  $a_0 a_1 = \alpha$  setzen. Daraus folgt mit Hülfe der obigen Gleichung zwischen  $r$  und  $s$

$$\beta_0 \beta_1 = \alpha \frac{s}{p} = \alpha \frac{r}{r + p}.$$

Denken wir uns dicht hinter den Concavlinen bei  $o$  ein Auge stehend, welches nach den Bildern  $\beta_0$  und  $\beta_1$  hinblickt und diese Bilder auf die feste Ebene  $c c$  projecirt in  $\gamma_0$  und  $\gamma_1$ , so ist die scheinbare Verschiebung der Projection auf dieser Ebene, deren Abstand von  $a_0$  wir mit  $A$  bezeichnen wollen,

$$\gamma_0 \gamma_1 = \beta_0 \beta_1 \cdot \frac{A}{s} = \frac{\alpha A}{p},$$





durch die zwei Spiegel die Landschaft so sieht, wie sie von  $E$  aus direct gesehen erscheinen würde. Nun ist die stereoskopische Differenz  $e$  zweier Bilder, projecirt auf eine Zeichnung in der Entfernung  $b$ , wie Gleichung 1 c) lehrt,

$$e = \frac{2Ab}{r},$$

wo  $2A$  die Entfernung der beiden Gesichtspunkte bezeichnet, und  $r$  die Entfernung des Objects von der gemeinsamen verticalen Ebene beider Augen. Jene Entfernung  $2A$  ist im Telestereoskop die Entfernung der beiden von je zwei Spiegeln entworfenen Spiegelbilder der Augen des Beobachters ( $r_1 \varrho_1$  der Fig. 233, Seite 794). Setzen wir nun diesen Werth von  $e$  in die Gleichungen 3 a), so wird, wenn unendlich entfernte Punkte mit parallelen Gesichtssachsen gesehen werden:

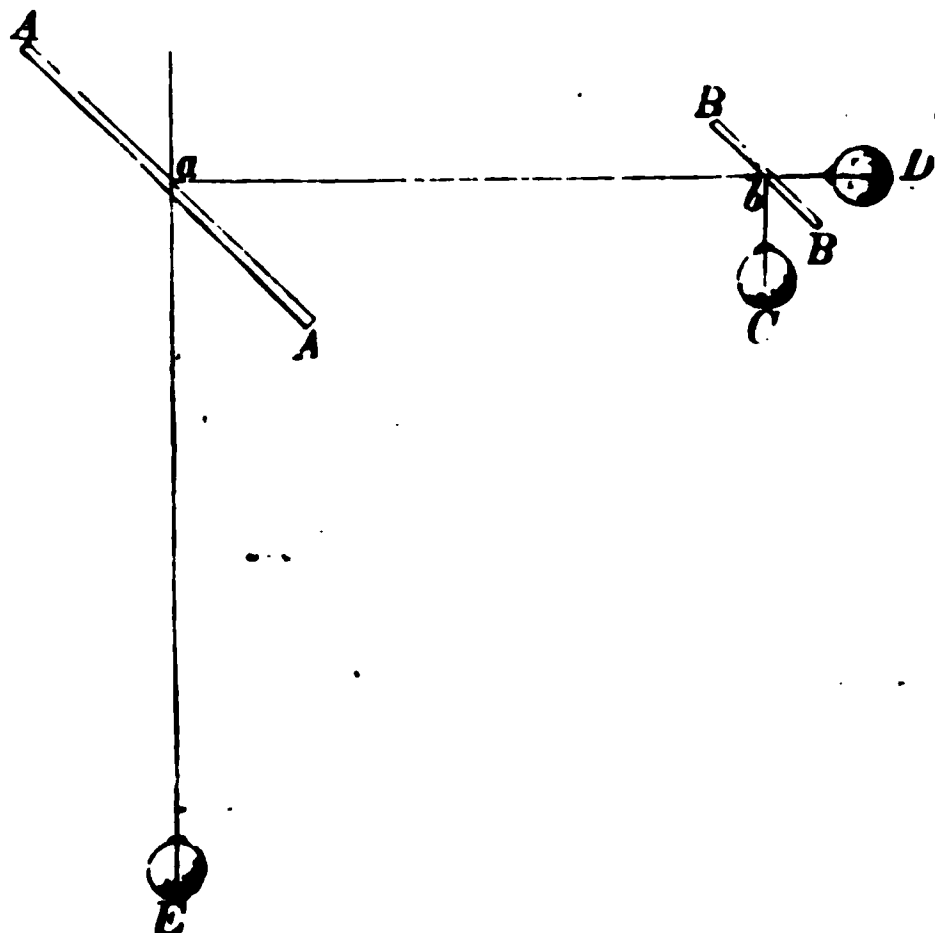


Fig. 237.

$$\alpha = \gamma \frac{a}{A} \frac{r}{b} = \gamma \frac{e}{b}$$

$$\beta = v \frac{a}{A} \frac{r}{b} = v \frac{e}{b}$$

$$\varrho = b \frac{a}{A} \frac{r}{b}$$

Danach verhalten sich also  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varrho$  zu einander beziehlich wie  $\gamma$ ,  $v$ ,  $b$ , welche letzteren wir als die wirklichen Entfernungen ansehen können, aber die scheinbare Entfernung  $\varrho$  ist kleiner als  $r$  im Verhältniß  $\frac{a}{A}$ , und in demselben Verhältnisse sind also auch die übrigen scheinbaren Dimensionen reducirt. Die Landschaft erscheint also dann, wie ein richtig construirtes verkleinertes Modell.

Dasselbe gilt für photographische Landschaftsbilder, wenn wir für  $2A$  die Entfernung der beiden Punkte nehmen, an denen sich der Mittelpunkt des Objectivglases der *Camera obscura* bei den beiden photographischen Aufnahmen befunden hat. Bei der Anordnung des Stereoskops ist darauf zu achten, daß unendlich entfernte Punkte der Photographien mit parallelen Gesichtslinien combinirt werden, und daß die Abstände der Platte von dem Auge oder den Linsen des Stereoskops gleich denen der Platte in der *Camera obscura* von dem Objectivglase derselben sein müssen; sonst bekommt man ein falsches Relief. Beide Bedingungen sind gewöhnlich in den käuflichen Stereoskopen und den dazu gehörigen Bildern nicht erfüllt.

RECKLINGHAUSEN's Normalfläche. Man denke sich ein rechtwinkeliges 675  
 Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt im Fixationspunkte liegt, die  $xy$  Ebene in



wo  $\gamma$  der halbe Convergenzwinkel, und  $r$  die Entfernung jedes Auges vom Fixationspunkte ist:

$$p = r \tan \alpha \sin \gamma \cdot \cos \gamma,$$

wonach die Gleichungen 1 b) und 1 d) werden:

676

$$(x \sin \gamma - y \cos \gamma) \tan \alpha + s = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 1 \text{ b}).$$

$$- (x \sin \gamma + y \cos \gamma) \tan \alpha + s = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 1 \text{ d}).$$

Subtrahirt man die zweite von der ersten, so erhält man

$$x \sin \gamma = 0,$$

das heisst, die Schnittlinie der beiden Ebenen 1 b) und 1 d) liegt in der durch den Fixationspunkt, senkrecht zur Visirebene und zur Medianebene gelegten Ebene  $x = 0$ , welches auch der Winkel  $\alpha$  sei. Diese Schnittlinie sei eine gesehene Linie, dann sind die beiden Ebenen 1 b) und 1 d) die Ebenen ihrer Richtungsstrahlen.

War nun die bisher betrachtete Stellung der Augen eine ohne Raddrehung, so können wir übergehen zu einer Stellung mit Raddrehung, indem wir in 1 b) den Winkel  $\alpha$  und  $\delta$  vergrößern, in 1 d) um ebenso viel verkleinern. Dann bekommen wir für die neue Lage beider Ebenen:

$$\tan (\alpha + \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma - x \sin \gamma}$$

$$\tan (\alpha - \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma + x \sin \gamma}.$$

Bilden wir hieraus die Tangente der Differenz beider Winkel, so erhalten wir:

$$\tan (2\delta) = \frac{2zx \sin \gamma}{y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma + z^2}$$

oder

$$z^2 + y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma - 2zx \sin \gamma \cdot \cotang (2\delta) = 0 \quad . \quad . \quad 2),$$

welches die Gleichung eines Kegels ist, dessen Spitze im Mittelpunkt der Coordinaten liegt. Aus der Gleichung 2) erhellt nämlich, daß wenn  $x, y, z$  Werthe sind, die der Gleichung 2) genügen, auch  $nx, ny$  und  $nz$  genügen; daraus folgt, daß jede durch einen Punkt der Fläche 2) und den Anfangspunkt der Coordinaten gezogene gerade Linie ganz in der Fläche 2) liegt, daß diese also ein Kegel ist.

Die in den Gleichungen 1) und 1 a) angegebenen Werthe der Coordinaten für die Blicklinien genügen ebenfalls der Gleichung 2). Die Kegelfläche geht also durch die Blicklinien.

Da nun nach den oben aufgestellten Grundsätzen bei medianem Fixationspunkte die Gesichtsbilder so ausgelegt werden, als wäre keine Raddrehung erfolgt, so

werden das vor der Drehung in der Ebene  $x = 0$  gezogene Strahlenbündel und das auf dem Kegel der Gleichung 2) gelegene nicht unterschieden werden, und das Strahlenbündel wird also eben oder kegelförmig erscheinen, je nachdem in der ersten oder zweiten Stellung der Augen die Netzhauthorizonte mit der Visirebene zusammenfallen.

Dabei ist noch zu bemerken, daß diejenigen Kanten des Kegels, welche den Blicklinien sehr nahe kommen und also gegen die Augen des Beobachters selbst hingerichtet erscheinen müßten, ein zu kühnes und unwahrscheinliches Relief geben und deshalb besser vermieden werden. Außerdem ist zu bemerken, daß diejenigen Kanten der Kegelfläche, die zwischen den Augen durchgehen, in den Bildern beider Netzhäute gerade entgegengesetzte Richtung bekommen, und deshalb von ihnen abzusehen ist.

Um die scheinbare Lage von Kreisen zu berechnen, deren Mittelpunkt fixirt wird und deren Ebene senkrecht zur Halbierungslinie des Convergenzwinkels ist, 677 benutzen wir den Satz, daß, wenn die Gleichung einer Ebene in der Normalform gegeben ist,

$$U = ax + by + cz + d$$

und

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1$$

der Ausdruck  $U$  den Abstand des Punktes  $(x, y, z)$  von der Ebene  $U = 0$  bezeichnet, wobei  $d$  den Abstand des Mittelpunkts der Coordinaten von derselben Ebene anzeigt.

Bringen wir die Gleichung 1 b) auf die Form

$$x \sin \gamma \sin \alpha - y \cos \gamma \sin \alpha + z \cos \alpha = U \quad . \quad . \quad . \quad 3),$$

nehmen wir dazu eine zweite Ebene, die auch durch die Blicklinie geht, in der aber der Winkel  $\alpha$  um einen Rechten gewachsen ist und die deshalb auf 3) senkrecht steht,

$$x \sin \gamma \cos \alpha - y \cos \gamma \cos \alpha - z \sin \alpha = V \quad . \quad . \quad . \quad 3a),$$

und endlich eine dritte Ebene, die auf der Blicklinie senkrecht steht,

$$x \cos \gamma + y \sin \gamma - r = W \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3b).$$

so sind  $U, V, W$  rechtwinkelige Coordinaten des Punktes  $(x, y, z)$  bezogen auf das System dieser drei Ebenen und

$$\frac{1}{m^2} U^2 + \frac{1}{n^2} V^2 = W^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3c)$$

ist die Gleichung eines Kegels zweiten Grades, der seine Spitze im Mittelpunkte des rechten Auges hat und dessen drei Hauptaxen in den Schnittlinien der Ebenen

$$U = 0, \quad V = 0, \quad W = 0$$

liegen.



$$x \sin \gamma \cos \gamma \left[ \frac{\sin^2 \alpha}{m^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{n^2} + 1 \right] + z \cos \gamma \cos \alpha \sin \alpha \left[ \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right] = r \sin \gamma.$$

Die erste Schnittlinie läge also in der Medianebene, und wird sich nicht leicht als Object darstellen, die Ebene der zweiten wird mit Berücksichtigung der Gleichung 3 d)

$$x (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma) - z \sin \gamma \sin \alpha \cos \alpha = \frac{r n^2}{(n^2 + 1) \cos \gamma} \quad . \quad . \quad 3f).$$

Für den Fall, daß  $\alpha = 0$ , wird diese Gleichung

$$x = \frac{r n^2}{(n^2 + 1) \cos \gamma} = x_0.$$

Die Schnittlinie der beiden Kegel liegt also in diesem Falle in der Entfernung  $x_0$  vor der Ebene,  $x = 0$ , in einer dieser parallelen Ebene, und ist ein Kreis. Wenn  $\alpha$  nicht gleich Null ist, ist die Ebene der Schnittlinie geneigt gegen die Ebene  $x = 0$  um einen Winkel  $\eta$ , dessen Tangente ist

$$\text{tang } \eta = \frac{\sin \gamma \sin \alpha \cos \alpha}{1 - \sin^2 \gamma \sin^2 \alpha}$$

und sie schneidet die Visirebene  $z = 0$  in der Linie

$$x = \frac{x_0}{1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma},$$

also etwas entfernter vom Auge, als vorher. Die Schnittlinie ist in diesem Falle eine Ellipse.

679 Die nahehin verticalen Axenebenen der beiden Kegel

$$V = 0 \text{ und } V' = 0$$

schneiden sich in der geraden Linie, deren Gleichungen sind

$$\left. \begin{array}{l} x \sin \gamma = y \text{ tang } \alpha \\ y = 0 \end{array} \right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4),$$

für  $\alpha = 0$  werden die Gleichungen dieser Linie

$$x = 0, \quad z = 0.$$

Eine zur Visirebene senkrechte Linie erscheint also bei der Raddrehung  $\alpha$  beider Augen gegen die Ebene  $x = 0$  geneigt unter dem Winkel  $\eta'$ , dessen Tangente ist

$$\text{tang } \eta' = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \gamma}.$$

Wenn nun die Winkel  $\alpha$  und  $\gamma$ , wie dies bei den praktisch ausführbaren Versuchen immer der Fall sein wird, klein sind, so ist

$$\text{tang } \eta' > \text{tang } \eta.$$











Nach den auf Seite 77 bis 80 gegebenen Regeln können die Hauptpunkte und Brennpunkte des ganzen optischen Systems eines Mikroskops leicht gefunden werden. Der erste Hauptpunkt liegt unterhalb des Objectivglases, der erste Brennpunkt ebenfalls, aber dem Objectiv näher. Der zweite Haupt- und Brennpunkt liegen oberhalb des Oculars, und zwar wieder der Brennpunkt diesem näher. Das Auge des Beobachters können wir uns im zweiten Brennpunkte befindlich denken und  $p$  die Brennweite des ganzen Systems nennen. Sind nun  $f$  und  $\varphi$  die Entfernungen beziehlich des Objectes vom ersten Brennpunkte nach oben und des Bildes vom zweiten Brennpunkte nach unten, so ist nach S. 70 Gleichung 7 b)

$$\varphi = \frac{p^2}{f}.$$

Bezeichnet  $b$  die Größe des Objectes,  $\beta$  die seines Bildes, so ist

$$\frac{\beta}{b} = \frac{p - \varphi}{f - p} = \frac{p}{f} = \frac{\varphi}{p}.$$

Denken wir uns nun das Auge accommodirt für das Bild  $\beta$ , und vor oder hinter dem Gegenstande  $b$  noch ein anderes Object  $b'$ , welches, da jenes erste durchsichtig ist, mit ihm zugleich gesehen werden kann, und dessen Entfernung vom Brennpunkte  $f'$  sein mag, so ist die Entfernung seines Bildes vom Auge und vom zweiten Brennpunkte

$$\varphi' = \frac{p^2}{f'}.$$

woraus folgt

$$\varphi' - \varphi = p^2 \cdot \frac{f - f'}{f \cdot f'}.$$

Der Winkel, unter dem die Strahlen vom Bilde  $b$  aus in das Objectivglas fallen, sei  $\alpha$ , der zugehörige Divergenzwinkel der Strahlen des Bildes  $\beta$  sei  $\alpha'$ , so ist nach Seite 71, Gleichung 7 d) und Seite 75, Gleichung 9)

$$b \tan \alpha = \beta \tan \alpha'$$

oder

$$\tan \alpha = \frac{f}{p} \tan \alpha'$$

und ebenso für die Bilder  $b'$  und  $\beta'$  nebst den zugehörigen Divergenzen der Strahlen  $\alpha$  und  $\alpha'$  ist

$$\tan \alpha' = \frac{f'}{p} \tan \alpha'.$$

Der Radius  $\varrho$  des Zerstreuungskreises in der Ebene des Bildes  $\beta$ , für welche das Auge accommodirt ist, ist, wie leicht ersichtlich,

$$\varrho = (\varphi' - \varphi) \tan \alpha' = \frac{p}{f} (f - f') \tan \alpha'.$$

Da nur Gegenstände beobachtet werden können, für welche der Zerstreuungskreis sehr klein ist, also  $\varphi' - \varphi$  und  $f' - f$  sehr klein sind, so kann die Veränderlichkeit des Winkels  $\alpha'$  für verschiedene sichtbare Objecte und sein Unterschied vom Winkel  $\alpha$  vernachlässigt werden, und wir können deshalb unter dieser Beschränkung die letzte Gleichung schreiben

$$\varrho = \frac{p \tan \alpha}{f} \cdot (f - f').$$





















Also kommt er im gemeinsamen Gesichtsfelde einmal rechts, einmal links von  $a$  vor, erscheint also doppelt, und zwar in sogenannten ungleichnamigen Doppelbildern, da das scheinbar rechts liegende Bild von  $a$  dem linken Auge, das scheinbar links liegende dem rechten Auge angehört.

Umgekehrt ist es mit dem entfernter liegenden Punkte  $d$ . Er erscheint im Gesichtsfelde des rechten Auges  $b_1$  rechts neben  $a$ , in dem des linken Auges links neben  $a$ , folglich in gleichnamigen Doppelbildern.

Ein etwas anderer Fall ist der in *Fig. 244* dargestellte;  $b_0$  und  $b_1$  sind wieder die Augen,  $a$  der gemeinsame Fixationspunkt. Der Punkt  $c$  liege außerhalb des Winkels  $b_0 a b_1$ , in geringerem Abstände von den Augen als der Fixationspunkt. Dies Mal liegt  $c$  allerdings in den Gesichtsfeldern beider Augen nach links von  $a$ , weil die Richtungslinien  $cb_0$  und  $cb_1$  beide nach links beziehlich von  $ab_0$  und  $ab_1$  liegen. Aber der Winkel  $cb_0 a$  ist viel kleiner, als der Winkel  $cb_1 a$ . Im Gesichtsfelde von  $b_0$  ist also  $c$  um einen viel kleineren Winkel von  $a$  entfernt, als im Gesichtsfelde des andern Auges. Ist diese Differenz merklich genug, so erscheint das Bild wieder an zwei verschiedenen Orten des gemeinsamen Gesichtsfeldes, also doppelt. Die Doppelbilder sind aber in diesem Falle nicht so deutlich, als wenn sie auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes liegen, wie in *Fig. 243*. Namentlich 697

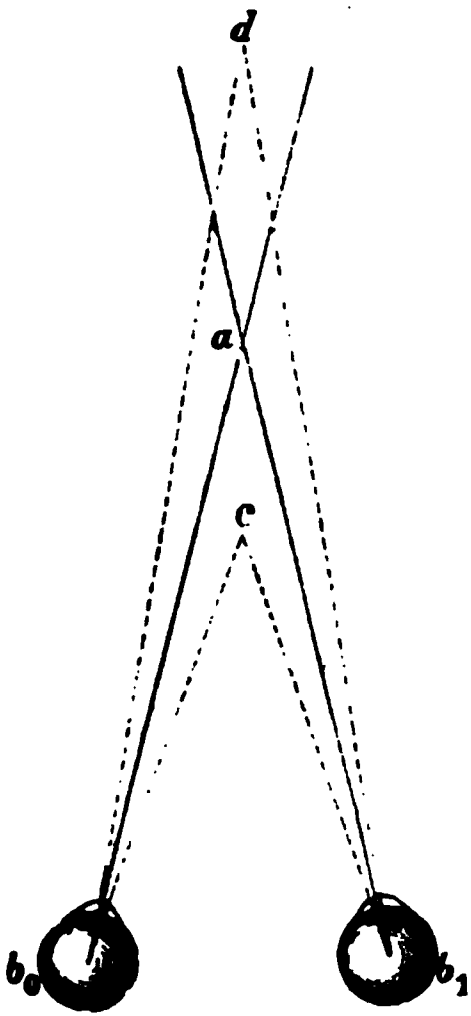


Fig. 243.

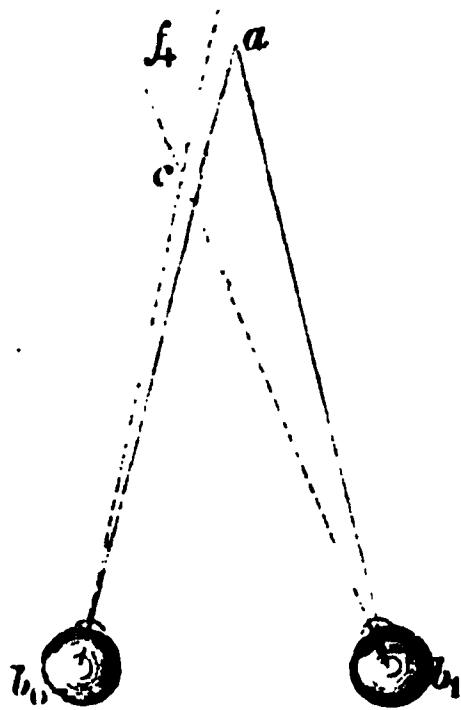


Fig. 244.

wenn sie sich mehr von  $a$  entfernen und in die Seitentheile des Gesichtsfeldes zu liegen kommen, muß ihr Abstand und der Unterschied ihrer Helligkeit von der der Umgebung schon ziemlich bedeutend sein, wenn sie bemerkt werden sollen. Etwas deutlicher werden sie, wenn sich zur Seite von  $a$ , etwa gleich weit von den Augen abgehend wie  $a$ , ein scharf bezeichnetes Object  $f$  zwischen den verlängerten Schenkeln des Winkels  $b_0 c b_1$  befindet,











Convergenzstellung sein. Dann würde der oben hingestellte Satz nur Consequenz der Definition des Begriffs „Netzhauthorizont“ sein. Es ist aber noch zu bemerken, daß die Netzhauthorizonte auch dadurch ausgezeichnet sind, daß bei der Lage des Fixationspunktes in der Medianebene für das Augenmaafs ihre Ebenen in der Visirebene zu liegen scheinen.

Genaue Bestimmungen über die Lage der Netzhauthorizonte sind von VOLKMANN für seine (etwas kurzsichtigen) Augen gegeben worden.<sup>1</sup> An einer ebenen, vor den Augen befindlichen senkrechten Wand waren zwei Drehscheiben so angebracht, daß der Drehpunkt einer jeden in der optischen Axe des bezüglichen, auf die unendliche Ferne gerichteten Auges lag. Auf jeder Scheibe war eine feine Linie verzeichnet, die entweder einen Durchmesser oder einen Radius bildete und mit der Umdrehung der Scheibe ihre Lage veränderte. Die Gröfse der Drehung konnte mittels einer am Rande der Scheiben angebrachten Gradtheilung gemessen werden.

1. Versuchsreihe: Links ein Durchmesser horizontal gestellt; der Durchmesser der rechten Scheibe wurde gesucht ihm parallel zu stellen. Um die Linien getrennt zu sehen, war es nöthig, den Kopf ein wenig nach der Seite zu neigen. Im Mittel aus 30 Versuchen betrug

der Kreuzungswinkel . . . . . 0°,443  
der wahrscheinliche Beobachtungsfehler . . . . . 0°,08

2. Versuchsreihe: Der rechte Durchmesser war horizontal gestellt, der linke wurde ihm parallel gestellt; sonst ebenso,

Kreuzungswinkel . . . . . 0°,553  
wahrscheinlicher Fehler . . . . . 0°,11

3. Versuchsreihe: Der linke Durchmesser liegt horizontal, der rechte wird so eingestellt, daß er beim Decken mit ihm eine möglichst feine Linie darstellt. Wieder im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel . . . . . 0°,397  
wahrscheinlicher Fehler . . . . . 0°,13

702    4. Versuchsreihe: Ebenso, nur ist der rechte Durchmesser festgestellt, der linke wird bewegt,

Kreuzungswinkel . . . . . 0°,467  
wahrscheinlicher Fehler . . . . . 0°,14

5. Versuchsreihe: Links ein horizontal gerichteter Radius; der Radius der rechten Scheibe wird so gestellt, daß er mit jenem eine gerade Linie zu bilden scheint. Im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel . . . . . 0°,46  
wahrscheinlicher Fehler . . . . . 0°,125

<sup>1</sup> A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Leipzig 1864, Heft 2, S. 206–208 und 222.

6. Versuchsreihe: Ebenso, nur liegt der rechte Radius fest, der linke  
nd gestellt.

Kreuzungswinkel . . . . . 0°,463  
wahrscheinlicher Fehler . . . . . 0°,096

Man sieht, daß diese Versuche alle nahe übereinstimmende Resultate geben,  
mlich

1.	0°,443
2.	0°,553
3.	0°,397
4.	0°,467
5.	0°,460
6.	0°,463
Mittel:	0°,464.

Der Sinn dieser Abweichung ist ein solcher, daß die äußere Seite jedes  
tzhauthorizontes etwas tiefer liegt, als die innere.

7. Versuchsreihe: Endlich hat VOLKMANN noch Versuche angestellt, bei  
nen er nur eine Scheibe mit dem linken Auge betrachtete und den darauf  
zeichneten Durchmesser horizontal zu stellen suchte; dabei stellte er im Mittel  
a 30 Versuchen das linke Ende um 0°,203 zu tief.

8. Versuchsreihe: Ebenso, nur wurde das rechte Auge gebraucht. Das  
hte Ende des Durchmessers wurde um 0°,233 zu tief gestellt.

Die Summe beider Abweichungen  $0°,203 + 0°,233 = 0°,436$  entspricht hin-  
chend genau dem oben gefundenen Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte.

Nach den Methoden der ersten vier Versuchsreihen fand VOLKMANN bei  
igen andern Beobachtern den Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte, wie folgt

Professor H. WELCKER . . . . . 0°,72  
Stud. med. KÄHERL . . . . . 0°,26  
Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL . . . . . 0°,43.

Bei meinen eigenen Augen habe ich Versuche nach der Methode von VOLK-  
NN's 5. und 6. Reihe angestellt und finde keine merkliche Abweichung der  
tzhauthorizonte, wenn ich vorher nur ferne Gegenstände angeblickt, oder durch  
igere Fortsetzung der Versuche meine Gesichtslinien parallel erhalten habe.  
omme ich aber vom Lesen oder Schreiben, wobei meine Augen also convergirten,  
finde ich eine kleine Abweichung in demselben Sinne, wie VOLKMANN, und von  
chselnder Größe, die bei längerer Fortsetzung der Versuche wieder verschwindet.

Herr Dr. DASTICH, dessen linkes Auge normalsichtig, das rechte kurzsichtig  
, fand eine Abweichung von 0°,31.

Was nun die vermuthliche Entstehungsweise dieses Identitätsverhält- 703  
sses der horizontalen Meridiane betrifft, so müssen wir beachten, daß wir  
i Fixation eines bestimmten Objectpunktes in denjenigen beiden Meri-  
anen der Sehfelder und der Netzhäute, welche mit der Visirebene zusammen-  
len, immer eine Reihe von Bildern derselben Objectpunkte finden  
rden, wie auch übrigens die Schnittlinie der Visirebene mit der Oberfläche  
s Objects verlaufen möge. Für alle anderen Meridiane dagegen wird das



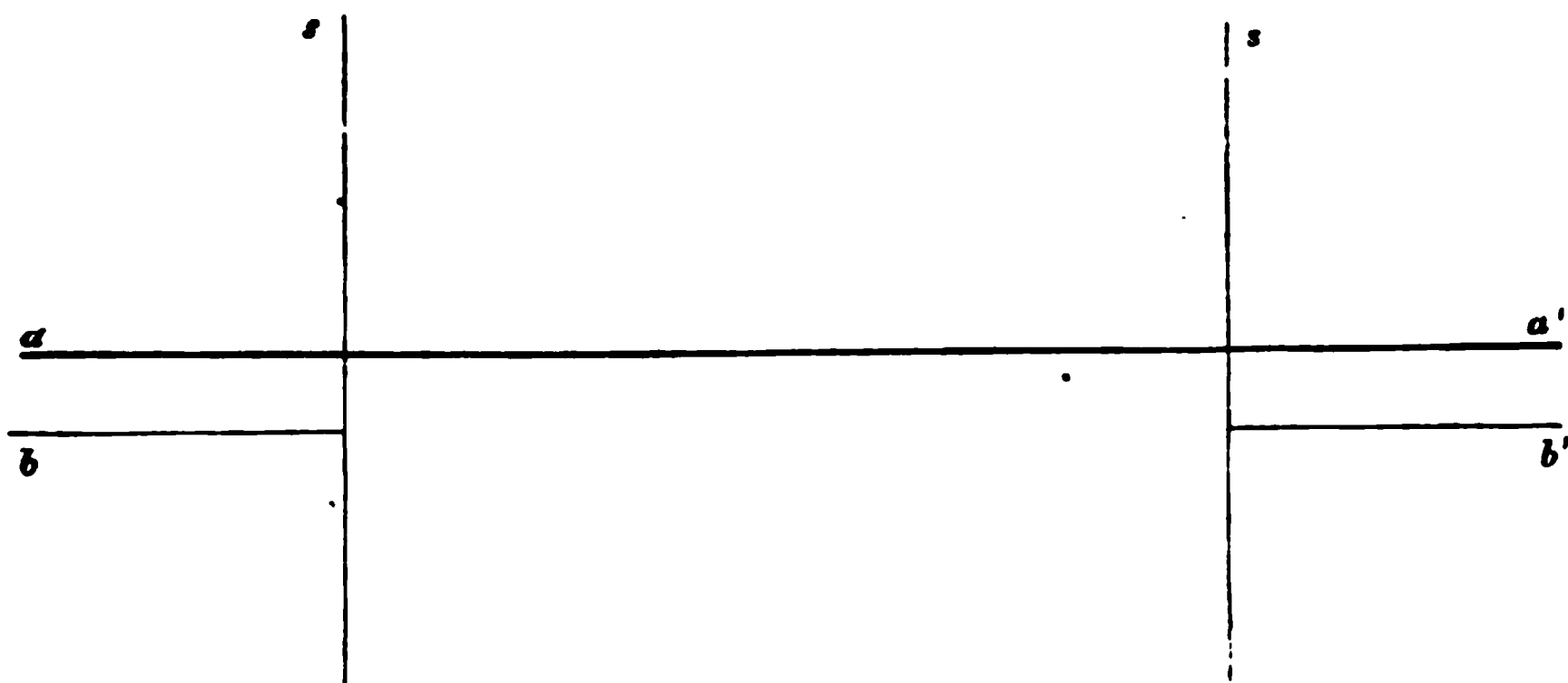




sichtigen Augen habe ich ihn meist viel kleiner gefunden. Auch E. HERING, der kurzsichtig ist, hat ihn für seine Augen beinahe gleich Null gefunden.

In den theoretischen Untersuchungen über das monoculare Gesichtsfeld fanden wir, daß die dort betrachteten Vorgänge bei der Ausbildung des 706 Augenmaasses für diesen Winkel keine bestimmte Gröfse ergaben, ihn vielmehr unbestimmt liefsen. Gründe, die seine Gröfse zu bestimmen scheinen, werden wir weiter unten in der Lehre vom Horopter finden.

4. In den scheinbar verticalen Decklinien sind Punkte, welche gleich weit von den Netzhauthorizonten abliegen, Deckpunkte. Auch hierüber liegen genaue Versuche von VOLKMANN vor. Jedes Auge hatte ein rechtwinkeliges Kreuz vor sich, gebildet aus der Horizontalen  $aa'$ , *Fig. 245*, und den Senkrechten  $s$  und  $s'$ , deren Abstand dem der Augen



*Fig. 245.*

des Beobachters gleich zu machen ist. Unterhalb der Horizontallinie und nach aussen von der Verticallinie jedes Kreuzes war eine zweite Horizontallinie  $b$  und  $b'$  gezogen, von denen die eine  $b$  fest, die andere  $b'$  beweglich war, so daß sie sich selbst parallel verschoben werden konnte. Der Beobachter fixirte die Mittelpunkte beider Kreuze mit parallelen Gesichtslinien, so daß sie sich scheinbar deckten, und verschob dann die bewegliche Horizontallinie  $b'$  so lange, bis sie scheinbar die genaue Fortsetzung der festen Horizontallinie  $b$  im anderen Sehfelde bildete.

Im Mittel aus je 30 Versuchen erhielt er den Abstand der beweglichen Horizontallinie

Bewegliche Horizontale rechts . . . . .	5,51	Millimeter
Bewegliche Horizontale links . . . . .	5,47	"
Abstand der festen Horizontale . . . . .	5,50	"

Der Abstand der Linien von den Augen war 300 Millimeter, die Differenzen zwischen den beiden verglichenen Gröfßen liegen unter der Grenze der wahrnehmbaren Abstände.













beobachten, habe ich das Liniensystem der *Fig. 247* angewendet. Das rechte Auge fixirt  $a'$ , das linke  $a$ , die Linien  $ac$  und  $a'c'$  fallen dann im binocularen Bilde scheinbar in eine zusammen, ebenso  $ab$  und  $a'b'$ . Die Linie  $fg$  ist auf einen andern Papierstreifen gezogen, der um den entfernten Punkt  $g$  drehbar ist. Man sucht nun, während man  $a$  und  $a'$  streng fixirt,  $gf$  so einzustellen, daß sie als Fortsetzung der Linie  $ed$  erscheint. Dann fand sich, daß ich  $a'f$  etwa gleich 19,5 Millimeter machte, während  $ad$  20 Millimeter betrug. Man muß natürlich gleichzeitig genau darauf achten, daß  $ac$  und  $a'c'$  als eine ununterbrochene Linie erscheinen. Der Unterschied, um den es sich hier 712 handelt, liegt ziemlich an der Grenze des Wahrnehmbaren.

Ich finde, daß die zuletzt erwähnten Unterschiede sich auch merklich machen, wenn ich zwei Systeme concentrischer Kreise, das linke mit schwarzen Linien auf weißem Grund gezeichnet, das rechte mit weißen Linien auf

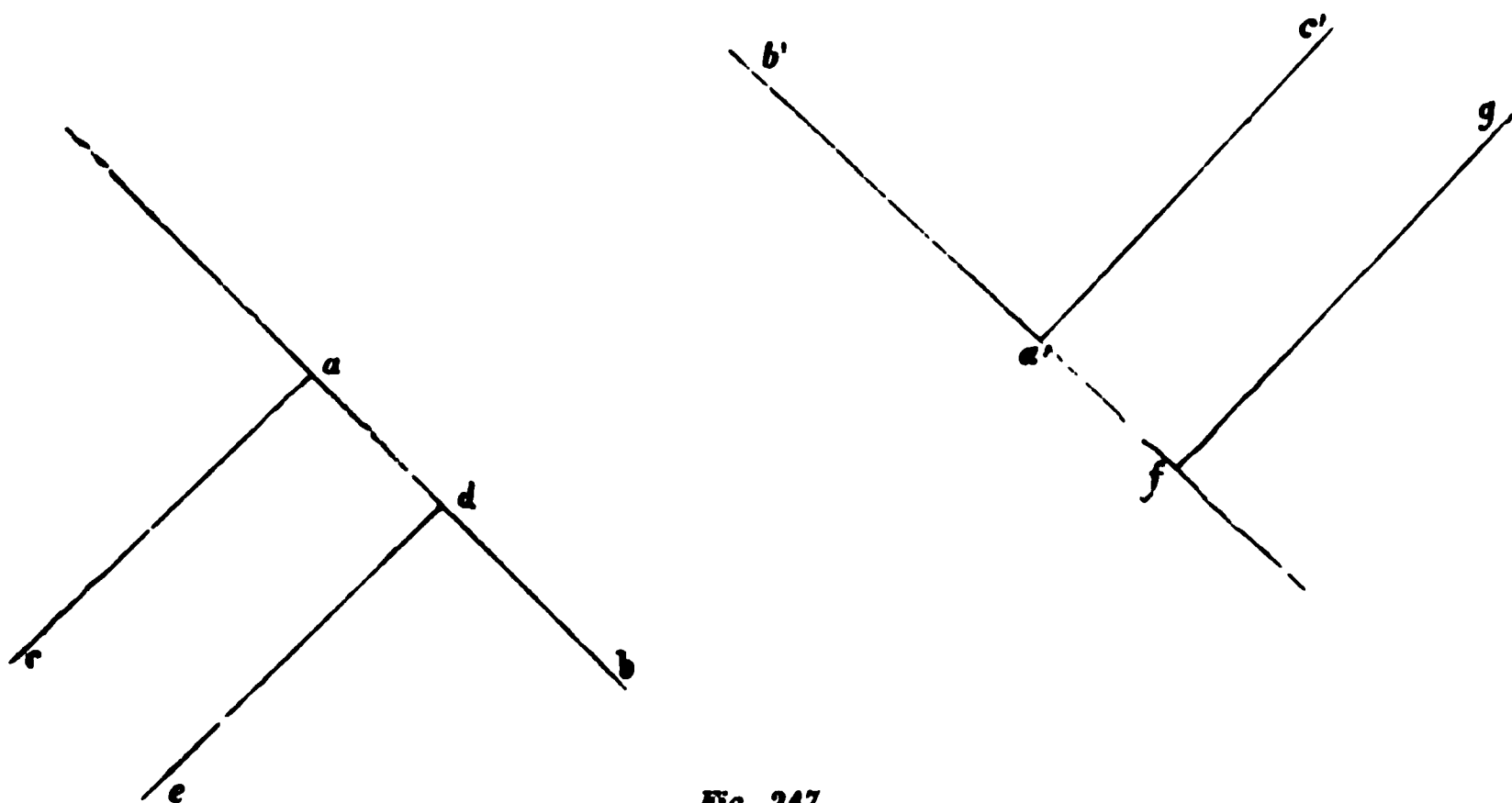


Fig. 247.

schwarzem Grunde ausgeführt, wie *O*, *Taf. VI*, bei fester Fixation ihrer Mittelpunkte mit parallelen Gesichtslinien zum Decken bringe. Dann decken sich die weißen und schwarzen Linien wirklich in dem verticalen und horizontalen Meridian; aber in den schräg liegenden Meridianen fallen sie neben einander, und zwar nach oben rechts und unten links die schwarzen nach außen, dagegen oben links und unten rechts die weißen. Der nach oben rechts gerichtete Radius des rechten Feldes müßte nämlich länger gemacht werden, als der nach oben rechts gerichtete Radius des linken Feldes, um ihm gleich zu erscheinen. Folglich erscheint jener kürzer, dieser länger.

Es ergibt sich aus der oben hingestellten Betrachtungsweise auch ein Gesetz für die Größe derjenigen Winkel, welche verschieden gerichtete Declinien mit einander machen. Die Berechnung, welche unten nachzusehen ist, ergibt für die Winkeldifferenz  $\Delta$  zweier correspondirender Meridiane bei parallelen Blicklinien den Ausdruck

$$\Delta = \gamma + 2s \sin^2 \beta,$$



**Grades**, das heißt eine solche, welche von einer beliebigen Ebene nur in drei Punkten geschnitten werden kann. Diese Curve hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, daß wenn man durch irgend einen festen Punkt derselben einerseits und durch alle andern Punkte der Curve andererseits gerade Linien legt, diese Linien einen Kegel zweiten Grades bilden. Wählt man als Spitze des Kegels einen unendlich entfernten Punkt der Curve (dieselbe läuft nämlich mit mindestens zwei Aesten in das Unendliche hinaus), so wird der Kegel ein Cylinder, dessen Basis eine Curve zweiten Grades ist. Um eine Anschauung von der Gestalt einer solchen Curve dritten Grades zu geben, können wir uns dieselbe auf eine Cylinderfläche gezeichnet denken und die Cylinderfläche in die Ebene abgerollt.

Die ausgezogene Curve *eabcf* der *Fig. 248* würde dann die Form der Curve darstellen. Man denke sich das Papier zu einem Cylinder mit kreis-

714

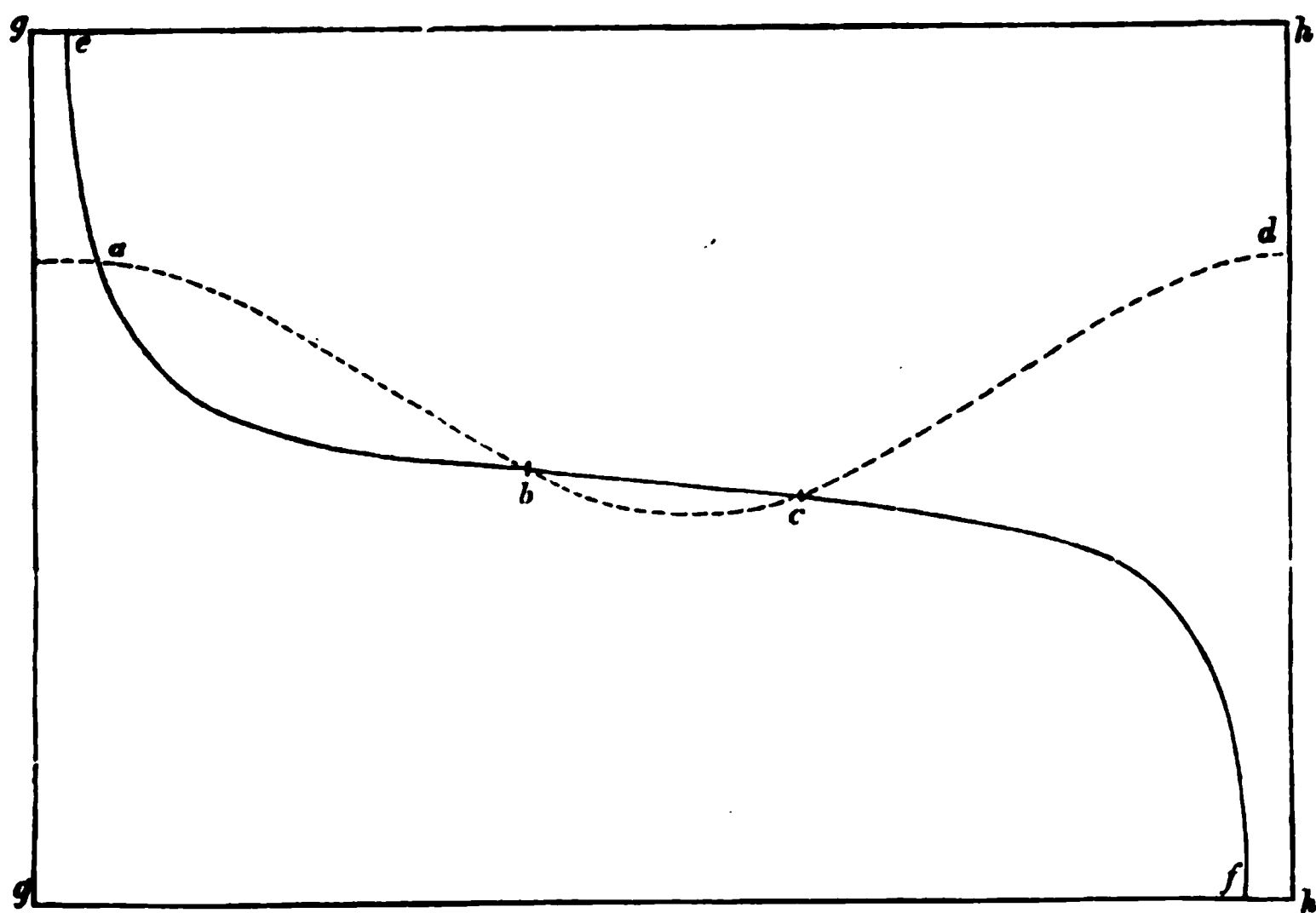


Fig. 248.

förmiger Basis zusammengerollt, so daß die Linien *gg* und *hh* aufeinander fallen, so würde die gezeichnete Curve die Form einer Curve dritten Grades erhalten. Die punktirte Curve bezeichnet die Schnittlinie einer Ebene (zum Beispiel der Visirebene) mit dem Cylinder. Von dieser Ebene wird die Curve dritten Grades in drei Punkten *a*, *b*, *c* geschnitten. An zwei Stellen *e* und *f* läuft die Curve in das Unendliche aus, indem sie sich asymptotisch der geraden Linie *gg* oder der damit identischen *hh* nähert.

Betrachten wir die Curve dritten Grades als Horoptercurve, so muß dieselbe durch die Mittelpunkte der Visirlinien beider Augen gehen. Es seien *b* und *c* die Orte der beiden Augen, *a* der Fixationspunkt. Dann fällt das Stück der Curve, welches zwischen ihnen liegt, nämlich *bc* zwischen beide









Ebenen, die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem ebenen Kegelschnitt.

In *Fig. 249* falle die Ebene der Zeichnung zusammen mit der Medianebene des Kopfes des stehenden Beobachters, und die Haltung des Kopfes sei so, daß die Primärlage der Blicklinien horizontal und parallel  $AO$  in die Ferne gerichtet sei. Der Punkt  $o$  sei der zwischen den Mittelpunkten der Visirlinie beider Augen mitten inne gelegene Punkt. Man errichte in  $o$  das Loth  $oa$  auf der Linie  $oA$  und mache es so lang, daß sich in seinem tiefsten Punkte  $a$  die scheinbar verticalen Äquatorialaxen der Augen, wie sie in der Primärlage der Blicklinien gestellt sind, schneiden. Eine horizontal durch  $a$  gelegte Ebene, die durch  $DE$  geht, ist dann der Horopter für die Sehrichtung  $oA$ . Diese Ebene fällt, wie bemerkt, bei normalsichtigen Augen nahehin mit der Fußbodenfläche zusammen.

*Fig. 249.*

Nun werde  $B$  Fixationspunkt, welcher Punkt in der Ebene der Zeichnung, das heißt in der Medianebene des Kopfes des Beobachters angenommen wird.  $Bo$  ist die Schnittlinie der Visirebene mit der Medianebene. In der Visirebene denken wir uns den MÜLLER'schen Kreis construirt, der durch  $B$  und die Centra der Visirlinien beider Augen geht; sein medianer Durchmesser sei  $Bp$ . Man errichte auf  $Bp$  das Loth  $pb$ , in welchem die Spitze des Verticalhoropterkegels liegt.

Um den Ort dieser Spitze zu finden, nehmen wir einen dritten Fixationspunkt zu Hilfe  $C$ , der so gewählt ist, daß wenn wir unter  $o'$  das Centrum der Visirlinien des einen oder andern Auges verstehen, welcher Punkt also etwas vor oder hinter der Ebene der Zeichnung in einem in  $o$  errichteten Perpendikel liegen müßte, dann die Linie  $Co'$  den Winkel  $AO'B$  halbirt.

Die Visirebene für den Fixationspunkt  $C$  ist dann die eine Ebene des Horizontalhoropters für den Fixationspunkt  $B$ . Die zweite Ebene des Horizontal-







































































so kommt die Gleichung auf die Normalform der Flächengleichungen, wobei die GröÙe  $\frac{n}{k}$  den Abstand zwischen der Fläche 1 d) und dem Nullpunkte der Coordinaten bezeichnet. Setzen wir

$$x = \sqrt{(l\alpha + m\gamma)^2 + (l\beta + m\delta)^2},$$

so bezeichnet  $\frac{n}{x}$  dieselbe Distanz für die Fläche 1 e). Beide Distanzen sind also nur dann gleich, wenn

$$k^2 = x^2.$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung 1 b) wird dies:

$$2ml(ac + bd) - 2ml(\alpha\gamma + \beta\delta) = 0.$$

Wenn nun nicht

$$ac + bd = \alpha\gamma + \beta\delta$$

ist, das heißt, wenn die beiden Ebenenpaare 1) und 1 a) in jedem Auge nicht gleiche Winkel mit einander machen, so ist jene Bedingung nur zu erfüllen, wenn entweder  $m = 0$  oder  $l = 0$  ist, das heißt, wenn die Ebenen 1 d) und 1 e) entweder mit den Ebenen 1) oder mit den Ebenen 1 a) zusammenfallen. Diese beiden sind durch die angegebene Eigenschaft also vor allen anderen correspondirenden Ebenenpaaren, welche durch die Blicklinie gehen, ausgezeichnet. Wir können deshalb die genannten beiden Ebenen als Hauptmeridianebenen bezeichnen.

Berechnung correspondirender Strecken und Winkel in beiden Augen. Legen wir der Bequemlichkeit wegen die  $x$  und  $\xi$  Axe in den Netzhaut-horizont, so wird in den Gleichungen 1)

$$a = \alpha = 0, \quad b = \beta = 1$$

und setzen wir die Lage der scheinbar verticalen Meridiane, wie dies wenigstens in der Regel sehr nahehin der Fall ist, als symmetrisch voraus, so ist zu nehmen

$$\frac{d}{c} = - \frac{\delta}{\gamma} = - \tan \varepsilon,$$

wo  $\varepsilon$  die Abweichung zwischen dem scheinbar und wirklich verticalen Meridiane jedes Auges bezeichnet. Dann ist

$$\begin{aligned} c &= \cos \varepsilon & \gamma &= \cos \varepsilon \\ d &= - \sin \varepsilon & \delta &= \sin \varepsilon. \end{aligned}$$

Die Gleichungen der Netzhauthorizonte sind dann

$$y = 0 \text{ und } v = 0 \dots\dots\dots 1h),$$

die der scheinbar verticalen Linien

$$x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon = 0 \text{ und } \xi \cos \varepsilon + v \sin \varepsilon = 0 \dots\dots\dots 1i)$$

und die Gleichungen correspondirender Linien, welche durch die Blickpunkte gehen, werden nach 1d) und 1e)

$$xm \cos \varepsilon + y (l - m \sin \varepsilon) = 0$$

$$\xi m \cos \varepsilon + v (l + m \sin \varepsilon) = 0.$$

748 Sind  $s$  und  $\sigma$  die Winkel, welche diese Linien mit den Axen der  $x$  und  $\xi$  machen, so ist

$$\text{tang } s = \frac{y}{x} = - \frac{m \cos \varepsilon}{l - m \sin \varepsilon}$$

$$\text{tang } \sigma = \frac{v}{\xi} = - \frac{m \cos \varepsilon}{l + m \sin \varepsilon},$$

woraus folgt:

$$\text{tang } (\sigma - s) = \frac{2m^2 \cos \varepsilon \sin \varepsilon}{l^2 + m^2 \cos (2\varepsilon)}$$

$$\text{tang } (\sigma + s) = - \frac{2ml \cos \varepsilon}{l^2 - m^2}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{m}{l} = \text{tang } \beta,$$

so wird

$$\text{tang } (\sigma - s) = \frac{\text{tang}^2 \beta \cdot \sin (2\varepsilon)}{1 + \text{tang}^2 \beta \cos (2\varepsilon)}$$

$$\text{tang } (\sigma + s) = - \text{tang } (2\beta) \cos \varepsilon$$

oder da  $\varepsilon$  ein verhältnißmäßig kleiner Winkel ist und deshalb  $\cos \varepsilon = \cos 2\varepsilon = 1$  und  $\sin (2\varepsilon) = 2\varepsilon$  gesetzt werden kann

$$\beta = - \frac{s + \sigma}{2}$$

$$\sigma - s = 2\varepsilon \sin^2 \beta.$$

Die Winkel  $s$  und  $\sigma$  sind von den Netzhauthorizonten ab gezählt. Sollen sie von der Visirebene ab gerechnet werden, so muß zu der Differenz noch der Winkel  $\gamma$  hinzukommen, den die Netzhauthorizonte machen, und wir erhalten dann die oben gebrauchte Formel für ihre Differenz

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2 \beta \dots\dots\dots 2).$$

Correspondirende Visirlinien und Ebenen. Ziehen wir durch jeden einzelnen eines Paars correspondirender Punkte und den Mittelpunkt der Visirlinien des zugehörigen Auges gerade Linien, so sind diese correspondirende Visirlinien. Punkte, die in solchen correspondirenden Visirlinien liegen, werden auf Deckstellen beider Netzhäute abgebildet.

Befindet sich in den bisher betrachteten Ebenen der  $(x, y)$  und  $(\xi, v)$  ein Paar correspondirender gerader Linien verzeichnet, so liegen deren Visirlinien alle in

zwei durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehenden Ebenen, welche correspondirende Ebenen genannt werden können.

Jedes Paar gerader Linien, welches in einem Paare correspondirender Ebenen gezogen ist, bildet sich auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Wenn zwei correspondirende Ebenen sich schneiden, so bildet sich die Schnittlinie auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Die Coordinaten der Mittelpunkte der Visirlinien seien

$x = 0,$

$y = 0,$

$z = e$

$\xi = 0,$

$v = 0,$

$\zeta = e.$

Nach bekannten Sätzen der analytischen Geometrie ist die Gleichung einer Ebene, welche durch den Punkt  $(x, y, z)$  geht, von der Form

$$fx + gy + \frac{h}{e} (e - z) = 0.$$

Setzen wir  $z = 0$ , so kommt die Gleichung unmittelbar auf die Form 1g) und ist nach der dort angegebenen Methode die correspondirende Linie in der  $(\xi, v)$  Ebene, und danach die correspondirende Ebene zu finden.

Bilden wir die Gleichungen

$A = ax + by$

$B = cx + dy$

$C = z - e$

$\mathfrak{A} = \alpha \xi + \beta v$

$\mathfrak{B} = \gamma \xi + \delta v$

$\mathfrak{C} = \zeta - e$

}

..... 3),

so sind alle Ebenen, deren Gleichungen von der Form sind

$lA + mB + nC = 0$

$l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0$

}

..... 3a)

correspondirende Ebenen. Denn die Gleichungen sind von der Form derjenigen, welche durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehen, und wenn wir  $z = 0$  und  $\zeta = 0$  setzen, behalten wir nach dem in 1d) und 1e) ausgesprochenen Satze die Gleichungen correspondirender Linien übrig, die in den  $xy$  und  $\xi v$  Ebenen liegen. Folglich sind die Ebenen correspondirend.

\*Correspondirende Visirlinien sind zu geben als Schnittlinien je zweier Paare correspondirender Ebenen.

Gleichungen für die einfach gesehenen Geraden. Bisher haben wir die Lage der correspondirenden Linien und Ebenen nur in Bezug auf die Lage des zugehörigen Auges betrachtet, aber die Lage der Augen gegen einander und zu den Objecten des Raumes noch gar nicht berücksichtigt. Um das letztere zu thun, denken wir uns die Lage aller Punkte und der Augen selbst auf ein gemeinsames rechtwinkeliges Coordinatensystem der  $\xi, \eta, \zeta$  bezogen. Wenn wir die  $x, y, z$  und  $\xi, v, \zeta$  durch diese neuen Coordinaten ausdrücken, werden ihre Werthe bekanntlich lineare Funktionen der  $\xi, \eta, \zeta$ , und ebenso auch die linear aus  $x, y, z$ , beziehlich  $\xi, v, \zeta$  zusammengesetzten Größen  $A, B, C$  und  $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ .

Durch jeden Raumpunkt geht im Allgemeinen eine einfach gesehene gerade Linie. Der Beweis hierfür ist zu führen, wie folgt. Die

57\*



Gleichungen 4). Da nämlich für die Punkte der einen Visirlinie die beiden Gleichungen links unter 4) erfüllt sind, ist auch nothwendig die obere Gleichung 4a) für dieselben Punkte erfüllt, das heißt die Punkte jener Visirlinien liegen auch in der der letzteren Gleichung entsprechenden Fläche. Dasselbe gilt für die rechtsstehenden Gleichungen unter 4) und die untere unter 4a).

Die beiden Gleichungen 4a) geben zusammen eine einfach gesehene gerade Linie, da sie einzeln genommen correspondirenden Ebenen entsprechen. Lassen wir nun den Factor  $k$  sich continuirlich verändern, so wird im Allgemeinen auch die einfach gesehene gerade Linie ihre Lage verändern, und zwar in continuirlicher Weise. Alle diese geraden Linien, welche auf solche Weise durch continuirliche Änderung von  $k$  sich ergeben, werden sich zu einer Fläche zusammenschließen, deren Gleichung sich ergibt, wenn wir aus den beiden Gleichungen 4a) den Factor  $k$  eliminiren. So erhalten wir als Gleichung für die Fläche, in der die genannte Reihe einfach gesehener gerader Linien liegt:

$$[l_0 A + m_0 B + n_0 C] [l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C}] \\ - [l_1 A + m_1 B + n_1 C] [l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C}] = 0$$

oder wenn wir die Multiplication ausführen:

751

$$(l_0 m_1 - l_1 m_0) [A \mathfrak{B} - \mathfrak{A} B] + (l_1 n_0 - l_0 n_1) [\mathfrak{A} C + A \mathfrak{C}] \\ + (m_0 n_1 - m_1 n_0) [B \mathfrak{C} - \mathfrak{B} C] = 0 \dots\dots\dots 4 b).$$

Da die Größen  $A, B, C$ , so wie  $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$  lineare Funktionen von  $x, y, z$  sind, so ist die Gleichung 4b) die einer Fläche zweiten Grades, und zwar einer solchen, in deren Oberfläche unendlich lange gerade Linien gezogen werden können. Unter den Flächen zweiten Grades lassen dies zu die Hyperboloide mit einer Mantelfläche, welche im Grenzfall in Kegel, Cylinder oder auch zwei sich schneidende Ebenen übergehen können.

Vergleichen wir nun die Gleichung 4b) mit den Gleichungen 3c), welche die Punkte geben, durch welche unendlich viele einfach gesehene gerade Linien gezogen werden können:

$$\left. \begin{aligned} A \mathfrak{C} - \mathfrak{A} C &= 0 \\ \mathfrak{B} C - B \mathfrak{C} &= 0 \\ \mathfrak{A} B - A \mathfrak{B} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 4 c),$$

so sehen wir, daß auch dies Gleichungen von Hyperboloiden sind, und zwar derselben Art, wie die Fläche 4b), welche letztere bei bestimmten Werthen der Coefficienten  $l, m, n$  in je eine der Gleichungen 4c) übergehen kann.

Nehmen wir zwei von den letzteren, zum Beispiel

$$\left. \begin{aligned} A \mathfrak{C} - \mathfrak{A} C &= 0 \\ B \mathfrak{C} - \mathfrak{B} C &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 4 d),$$

so werden dieselben sich in einer Curve schneiden müssen, da sie jedenfalls zwei Punkte gemein haben, nämlich die Mittelpunkte der Visirlinien, für deren einen

$$A = B = C = 0,$$

während für den andern

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = 0$$





Mittelpunkten beider Augen. Denkt man sich die schneidende Ebene unendlich weit entfernt, so wird sie auch in ein oder drei Punkten schneiden müssen, was dann ein oder drei Paare nach entgegengesetzten Richtungen in das Unendliche auslaufender Zweige der Curve giebt.

Die Curve dritten Grades ist Horoptercurve, das heisst, in ihr schneiden sich correspondirende Visirlinien. Die drei Gleichungen 4c) können wir nämlich auch schreiben

$$\frac{A}{\mathfrak{A}} = \frac{B}{\mathfrak{B}} = \frac{C}{\mathfrak{C}} \dots\dots\dots 4f)$$

Nun sind die Gleichungen 4) die Gleichungen zweier correspondirender Visirlinien. Nehmen wir die der einen

$$\left. \begin{aligned} l_0 A + m_0 B + n_0 C &= 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 4g)$$

und setzen voraus, daß sie durch einen Punkt der Curve dritten Grades geht, in welchem dann die Gleichungen 4f) erfüllt sind, so folgt: wenn wir die beiden Gleichungen 4g) mit  $\frac{\mathfrak{A}}{A}$  multipliciren mit Berücksichtigung von 4f), daß für denselben Punkt auch sei

$$l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} = 0$$

$$l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} = 0,$$

daß also derselbe Punkt auch der correspondirenden Visirlinie angehört. Es schneiden sich also correspondirende Visirlinien in je einem Punkte der gemeinsamen Schnittlinie der Flächen 4c). Diese ist die Horoptercurve. Daß nicht alle Stücke dieser Curve auch gleichzeitig Horopter sind, ist schon oben erwähnt worden.

Kegel zweiten Grades, welche durch die Horoptercurve gehen. Wenn die beiden correspondirenden Visirlinien der Gleichungen 4) sich in einem Punkte schneiden, der alsdann der Horoptercurve angehört, so gehen auch alle die durch die beiden Visirlinien gelegten Ebenen der Gleichungen 4a) durch denselben Punkt, folglich auch alle Schnittlinien dieser Ebenen, aus denen sich die Oberfläche zweiten Grades zusammensetzt. Eine Fläche zweiten Grades, in der ein System unendlich langer gerader Linien liegt, die alle durch einen und denselben Punkt gehen, ist ein Kegel zweiten Grades.

Jeder Punkt der Horoptercurve ist also die Spitze eines Kegels zweiten Grades, in dessen Mantel die ganze Horoptercurve liegt. Dieser Kegel kann in besonderen Fällen in einen Cylinder (Kegel mit unendlich entfernter Spitze) oder in ein Paar sich schneidender Ebenen (Kegel, dessen elliptische Basis eine unendlich lange Axe hat) übergehen.

Jede gerade Linie, welche zwei Punkte der Horoptercurve schneidet, gehört zwei solchen Kegeln an und wird also einfach gesehen.

Wenn sich einer der Kegel in ein Ebenenpaar verwandeln kann, so besteht die Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer geraden Linie, die den Kegelschnitt in einem Punkte schneidet. Denn man denke sich zur Construction der Horoptercurve außer dem einen Kegel, der durch die beiden Ebenen dargestellt







nicht, da bei sehr großen Entfernungen des Fixationspunktes überhaupt die Beobachtungen über die Lage der einfach gesehenen Punkte zu unbestimmt werden. In Augen, wo die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane fehlt, rücken die erwähnten Lagen des Fixationspunktes in unendliche Entfernung hinaus.

Mit Auslassung kleiner Größen ist in solchen Fällen die Entfernung  $\varrho$  des Fixationspunktes von dem Mittelpunkt eines mitten zwischen den Augen gelegenen ideellen Auges, wenn  $\alpha$  der Erhebungswinkel,  $\gamma$  der Seitenwendungswinkel dieses Auges wäre,  $a$  der halbe Abstand der wirklichen Augen,  $\varepsilon$  die halbe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane von einander

$$\varrho = \pm \frac{a \cos \gamma}{\sin \varepsilon \sin \beta \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

In der Nähe der Medianebene, wo  $\gamma = 0$  und in der Nähe der Primärlage der Visirebene, wo  $\alpha = 0$ , wird  $\beta = 0$  und  $\varrho$  unendlich lang. Positive Werthe hat es nur für ein negatives  $\alpha$ , also unterhalb der Visirebene.

Wir wollen jetzt die beiden erst erwähnten Fälle behandeln, in denen der Horopter aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve besteht, Fälle, welche eine gewisse Wichtigkeit für die Beobachtungen haben.

A. Der Fixationspunkt liegt in der Medianebene in unendlicher Entfernung. Dann wird in den Gleichungen 5a) und 5b)

$$a = a_1 \quad \vartheta = -\vartheta_1$$

$$\left. \begin{aligned} A &= -x \sin \gamma \sin \vartheta + y \cos \gamma \sin \vartheta + z \cos \vartheta \\ B &= -x \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) - z \sin (\vartheta + \varepsilon) \\ C &= a - x \cos \gamma - y \sin \gamma \\ \mathfrak{A} &= -x \sin \gamma \sin \vartheta - y \cos \gamma \sin \vartheta + z \cos \vartheta \\ \mathfrak{B} &= x \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + z \sin (\vartheta + \varepsilon) \\ \mathfrak{C} &= a - x \cos \gamma + y \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots 6).$$

Zusammenfallende correspondirende Ebenen finden sich, wenn wir setzen

$$A \sin \gamma + C \cos \gamma \sin \vartheta = 0$$

$$\mathfrak{A} \sin \gamma + \mathfrak{C} \cos \gamma \sin \vartheta = 0,$$

denn beide Gleichungen geben identisch, vorausgesetzt, daß nicht  $\sin \gamma$  und  $\sin \vartheta$  gleichzeitig gleich Null sind:

$$x \sin \vartheta - z \sin \gamma \cos \vartheta - a \cos \gamma \sin \vartheta = 0 \dots \dots \dots 6a).$$

Dies ist also die Ebene des Kegelschnitts. Ferner wird für

$$y = 0 \text{ und } x \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) = -z \sin (\vartheta + \varepsilon) \dots \dots \dots 6b)$$

$$A = \mathfrak{A} = -x \sin \gamma \sin \vartheta + z \cos \vartheta$$

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

$$C = \mathfrak{C} = a - x \cos \gamma.$$



Werth hat, so muß  $\vartheta$  zu diesem Zwecke noch kleinere negative Werthe haben, was nur bei abwärts gerichteten Gesichtslinien und weiter Entfernung des Fixationspunktes eintreten kann.

Die  $Y$  Axe dieses in der Visirebene liegenden Kegelschnitts fällt mit der ebenen Horoptercurve zusammen; um die mediane Axe der letzteren zu finden, setze man den Werth von  $z$  aus der Gleichung 6a) in 6c) und zugleich  $\eta = 0$ , so kann man für das eine und andere Ende der betreffenden Axe die Coordinaten  $\xi_0, \zeta_0$  und  $\xi_1, \zeta_1$  finden. Die Größe der stets reellen Axe  $X_1$  ist dann gegeben durch die Gleichung

$$X_1^2 = \frac{1}{4} (\xi_1 - \xi_0)^2 + \frac{1}{4} (\zeta_1 - \zeta_0)^2$$

$$= \frac{a^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varepsilon (\sin^2 \gamma \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta)}{4 \cos^2 \gamma \cos^2 \vartheta [\sin^2 \gamma \cos \vartheta \cos (\vartheta + \varepsilon) + \sin \vartheta \cdot \sin (\vartheta + \varepsilon)]^2}$$

und es findet sich

$$\frac{X_1^2}{Y^2} = \frac{\sin^2 \gamma + \tan^2 \vartheta}{\sin^2 \gamma + \tan \vartheta \cdot \tan (\vartheta + \varepsilon)}.$$

Man kann zur Construction der Horoptercurve statt des bisher betrachteten Cylinders auch den Kegel des Verticalhoropters

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

benutzen, oder

$$[\xi \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + \zeta \sin (\vartheta + \varepsilon)] [a - \xi \cos \gamma] - \eta^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) = 0$$

für  $z = 0$ , das heißt in der Visirebene, ist die Schnittlinie ein Kreis, gegeben durch folgende Gleichung:

$$\left( \xi - \frac{a}{2 \cos \gamma} \right)^2 + \eta^2 = \frac{a^2}{4 \cos^2 \gamma}.$$

Dieser Kreis geht durch die Punkte

$$\xi = 0 \qquad \eta = 0$$

$$\xi = \frac{a}{\cos \gamma}, \qquad \eta = 0$$

$$\xi = a \cos \gamma \qquad \eta = a \sin \gamma$$

$$\xi = a \cos \gamma \qquad \eta = -a \sin \gamma.$$

Die zwei ersten sind der Fixationspunkt und der ihm diametral gegenüber liegende Punkt, die beiden andern sind die Mittelpunkte beider Augen. Dadurch ist dieser Kreis gegeben.

Der Kegel schneidet die Medianebene,  $\eta = 0$ , in den beiden Linien

$$\xi \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) = -\zeta \sin (\vartheta + \varepsilon)$$

$$\xi \cos \gamma = a.$$



Ersteres ist die gerade Horopterlinie, die zweite ist senkrecht zur Visirebene und schneidet diese in dem dem Fixationspunkt diametral gegenüberliegenden Punkte des Kreises. Die Ordinaten der Spitze des Kegels sind also

$$\xi = \frac{a}{\cos \gamma}$$

$$\zeta = -a \tan \gamma \cdot \cotang (\vartheta + \epsilon).$$

Um die Lage der betreffenden Linien und Ebenen zu finden für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, setzen wir den Erhebungswinkel zwischen der Primärlage der Visirebene und ihrer actuellen Lage gleich  $\beta$ , und haben dann

$$\tan \vartheta = \frac{\sin \gamma \sin \beta}{\cos \gamma + \cos \beta} \dots \dots \dots 7).$$

Die Gleichung 6 a) für die Ebene der Horoptercurve wird dann

$$(\xi - a \cos \gamma) - \zeta \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{\sin \beta} = 0 \dots \dots \dots 7a).$$

Die Gleichungen für die Primärrihtung der Gesichtslinien sind unter diesen Umständen:

$$\eta = \pm a \sin \gamma \text{ und } \zeta = (\xi - a \cos \gamma) \tan \beta \dots \dots \dots 7b).$$

Die Gleichungen für die actuellen Lagen der Blicklinien sind

$$\zeta = 0 \text{ und } \eta = \pm \xi \tan \gamma \dots \dots \dots 7c).$$

Der Fixationspunkt ist auf den letzteren Linien in der Entfernung  $a$  von den Mittelpunkten der Augen. Schneiden wir auch auf den Linien 7b) einen Punkt in der Entfernung  $a$  vom Mittelpunkte des betreffenden Auges ab, so sind dessen Coordinaten

$$\xi = a (\cos \gamma - \cos \beta), \quad \eta = \pm a \sin \gamma, \quad \zeta = -a \sin \beta \dots \dots \dots 7d).$$

Die Coordinaten eines Punktes dagegen, der in der Mitte zwischen diesem Punkte 7d) und dem Fixationspunkte liegt, für welchen letzteren

$$\xi = 0 \quad \eta = 0 \quad \zeta = 0$$

sind halb so groß als die Coordinaten 7d), also

$$\xi = \frac{1}{2} a (\cos \gamma - \cos \beta), \quad \eta = \pm \frac{1}{2} a \sin \gamma, \quad \zeta = -\frac{1}{2} a \sin \beta \dots \dots 7e).$$

Diese letzteren Werthe erfüllen nun die Gleichung 7a) und es liegen also die beiden Punkte 7e) in der Ebene der Horoptercurve.

Die Ebene des Kegelschnitts, der der Horoptercurve angehört, wird also bei medianem Fixationspunkte gefunden, wenn man die Winkel, welche die primäre und

die actuelle Lage jeder Blicklinie bilden, halbirt und durch die Halbirungslinie eine Ebene legt. Dieser Umstand ist bei der Construction auf Seite 865, *Fig. 249*, benutzt.

Wenn man ferner durch den Mittelpunkt jedes Auges eine Ebene legt, senkrecht zu der Verbindungslinie desselben Punktes mit dem zugehörigen Punkte der Gleichungen 7 e), so ist deren Gleichung

$$(x - a \cos \gamma)(\cos \gamma + \cos \beta) - (a \sin \gamma \mp \eta) \sin \gamma + \xi \sin \beta = 0 \dots\dots\dots 7 f).$$

Nimmt man hierzu noch die Gleichung einer Ebene, welche in der Entfernung  $-a \sin \gamma \cotang \varepsilon$  unterhalb der Primärlage der Visirebene 7 d) liegt und deren Gleichung ist:

$$\xi \cdot \cos \beta + a \cotang \varepsilon \cdot \sin \gamma = (x - a \cos \gamma) \sin \beta \dots\dots\dots 7 g),$$

so ergibt sich, daß die Ebenen, welche durch die gerade Horopterlinie gehen, nämlich

$$x \sin \gamma + \xi \tan (\vartheta + \varepsilon) = 0, \quad \eta = 0$$

und die beiden Ebenen 7 f) und 7 g) durch einen Punkt gehen, da die Werthe von  $x \eta \xi$  aus je drei dieser Gleichungen, mit Berücksichtigung von 7) in die vierte gesetzt, diese identisch machen. Darauf beruht die Construction der geraden Horopterlinie oben in *Fig. 250*.

B. Fixationspunkt in der Mittelebene in unendlicher Entfernung. Eine besondere Untersuchung verdient noch der Fall, wenn  $\sin \gamma$  und  $\sin \vartheta$  gleichzeitig gleich Null sind, ein Fall, den wir oben bei der Gleichung 6 a) von der Untersuchung ausschließen mußten. Es sind alsdann die Gesichtslinien einander parallel in die Ferne gerichtet. Die Entfernung  $a$  des Fixationspunktes und die Coordinate  $x$  wird unendlich groß, aber die Größe  $a \sin \gamma$ , welche die halbe Entfernung der Augen ist, bleibt constant, wir wollen sie mit  $b$  bezeichnen, und  $x - a$  mit  $\xi$ . Dann wird

$$A = \xi$$

$$\mathfrak{A} = \xi$$

$$B = -b \cos \varepsilon + \eta \cos \varepsilon - \xi \sin \varepsilon$$

$$\mathfrak{B} = b \cos \varepsilon + \eta \cos \varepsilon + \xi \sin \varepsilon$$

$$C = -\xi$$

$$\mathfrak{C} = -\xi.$$

Dann sind also die Bedingungen der Correspondenz, daß

$$A = \mathfrak{A}, \quad B = \mathfrak{B}, \quad C = \mathfrak{C}$$

vollständig erfüllt für alle Punkte, für welche

$$b \cos \varepsilon + \xi \sin \varepsilon = 0.$$

Dies sind die Punkte einer Ebene, die in der Entfernung  $-b \cotang \varepsilon$  unterhalb der Visirebene liegt. Diese bildet also in diesen Fällen den Horopter.

C. Der Fixationspunkt liegt in der Primärlage der Visirebene. Nach dem LISTING'schen Gesetze wird

$$\vartheta = \vartheta_1 = 0$$

und also nach 5 a) und 5 b)

$$\left. \begin{aligned}
 A &= \xi \\
 B &= -\xi \sin \gamma \cos \varepsilon + \eta \cos \gamma \cos \varepsilon - \xi \sin \varepsilon \\
 C &= a - \xi \cos \gamma - \eta \sin \gamma \\
 \mathfrak{A} &= \xi \\
 \mathfrak{B} &= \xi \sin \gamma \cos \varepsilon + \eta \cos \gamma \cos \varepsilon + \xi \sin \varepsilon \\
 \mathfrak{C} &= a_1 - \xi \cos \gamma + \eta \sin \gamma
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 8).$$

761 Der Kegel

$$A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C = 0$$

wird

$$\xi [a_1 - a + 2\eta \sin \gamma] = 0 \dots\dots\dots 8a)$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\xi = 0 \text{ und } \eta = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \dots\dots\dots 8b)$$

Die Fläche

$$A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B = 0$$

wird

$$2\xi [\xi \sin \gamma \cos \varepsilon + \xi \sin \varepsilon] = 0$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\xi = 0 \text{ und } \xi \sin \gamma + \xi \tan \varepsilon = 0 \dots\dots\dots 8c)$$

Die Fläche endlich

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

wird

$$\begin{aligned}
 & -(\xi \sin \gamma \cos \varepsilon + \xi \sin \varepsilon)(a_1 + a - 2\xi \cos \gamma) + 2\eta^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos \varepsilon \\
 & + (a_1 - a)\eta \cos \gamma \cos \varepsilon = 0,
 \end{aligned}$$

was die Gleichung eines Hyperboloids ist. Die Schnittlinie desselben mit der Ebene  $\xi = 0$  ist

$$\left(\xi - \frac{a + a_1}{4 \cos \gamma}\right)^2 + \left(\eta + \frac{a_1 - a}{4 \sin \gamma}\right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma}{(\sin 2\gamma)^2}$$

ein Kreis, welcher durch die Punkte

$$\begin{aligned}
 \xi &= 0 & \eta &= 0 \\
 \xi &= a \cos \gamma & \eta &= a \sin \gamma \\
 \xi &= a_1 \cos \gamma & \eta &= -a_1 \sin \gamma
 \end{aligned}$$

hindurchgeht, der MÜLLER'sche Horopterkreis.

Die gerade Linie des Horopters ist demgemäfs die durch die beiden unter 8 b) und 8 c) aufgeführten Gleichungen gegebene Linie

$$\eta = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \text{ und } x \sin \gamma + z \tan \varepsilon = 0.$$

Ihr Schnittpunkt mit der Visirebene liegt auch im Horopterkreise, sie läuft der Medianebene  $\eta = 0$  parallel. Die Entfernung des Schnittpunktes von den beiden Augenmittelpunkten ist die gleiche, nämlich

$$\frac{\sqrt{a^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma + a_1^2}}{2 \sin \gamma} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

wenn wir die halbe Distanz der Augen von einander mit  $b$  bezeichnen. Macht man

$$x = \frac{b}{\sin \gamma},$$

so wird

$$z = - \frac{b}{\tan \varepsilon}.$$

Diese letztere Gröfse ist aber die Entfernung der Horopterfläche unter der Visirebene, wenn beide Gesichtslinien der Medianebene parallel sind, und so ergibt sich die oben angegebene Construction der geraden Horopterlinie.

Geschichtliches. Die Frage über den Grund des Einfach- und Doppeltsehens ist schon sehr alt. Schon GALENUS<sup>1</sup> (geb. 113 p. C.) machte zur Erklärung des ersteren die Annahme, dafs sich Sehnervenfasern im Chiasma der Sehnerven verbänden. Dieser anatomischen Hypothese schlossen sich später an I. NEWTON,<sup>2</sup> ROHAULT,<sup>3</sup> HARTLEY,<sup>4</sup> W. H. WOLLASTON,<sup>5</sup> JOH. MÜLLER.<sup>6</sup> Eine zweite Ansicht suchte die Schwierigkeit durch die Annahme zu beseitigen, dafs wir immer nur mit einem Auge auf einmal sähen. Dieser Meinung war PORTA.<sup>7</sup> Ihm schlossen sich GASSENDI,<sup>8</sup> TACQUET, GALL und DU TOUR<sup>9</sup> an. Letzterer berief sich dabei namentlich auf die Phänomene des Wettstreits zwischen beiden Gesichtsfeldern und beschränkte die Annahme auch dahin, dafs bald gleichzeitig mit beiden Augen, bald nur mit einem gesehen werden sollte.

Die dritte davon verschiedene Ansicht war die sogenannte Projectionstheorie, wobei das Einfachsehen für einen Act unseres Verständnisses der Gesichtsempfindungen erklärt wird. In ihrem Sinne äufsert sich schon KEPLER;<sup>10</sup> mit ihm gleichzeitig stellte AGUILONIUS<sup>11</sup> die Theorie auf, dafs wir die Gesichtsbilder immer auf eine gewisse durch den Fixationspunkt gehende Ebene projecirten, die er den Horopter nannte, und dafs sie einfach oder doppelt erschienen, je nachdem ihre Projection einfach oder doppelt

<sup>1</sup> GALENUS, *De usu partium*. Lib. X. cap. 12.

<sup>2</sup> I. NEWTON, *Opticks*. 1717. p. 320. Query 15.

<sup>3</sup> ROHAULT, *Traité de physique*. Paris 1671 und 1682. Part. I, cap. 31.

<sup>4</sup> HARTLEY, *Observations on man*. I, 207.

<sup>5</sup> W. H. WOLLASTON, *Phil. Trans.* 1824. I, 222.

<sup>6</sup> J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig 1826.

<sup>7</sup> PORTA, *De refractione*. p. 142. 1593.

<sup>8</sup> GASSENDI, *Opera*. Vol. II, p. 395.

<sup>9</sup> TACQUET, GALL und DU TOUR, *Acta Paris*. 1743. p. 334. *Mém. des savants étrang.* III, 514. IV 499. V 677.

<sup>10</sup> KEPLER, *Dioptrice*. Propos. LXII.

<sup>11</sup> AGUILONIUS, *Opticorum Libri VI*. Antwerp. 1613.

V. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 2. Aufl.







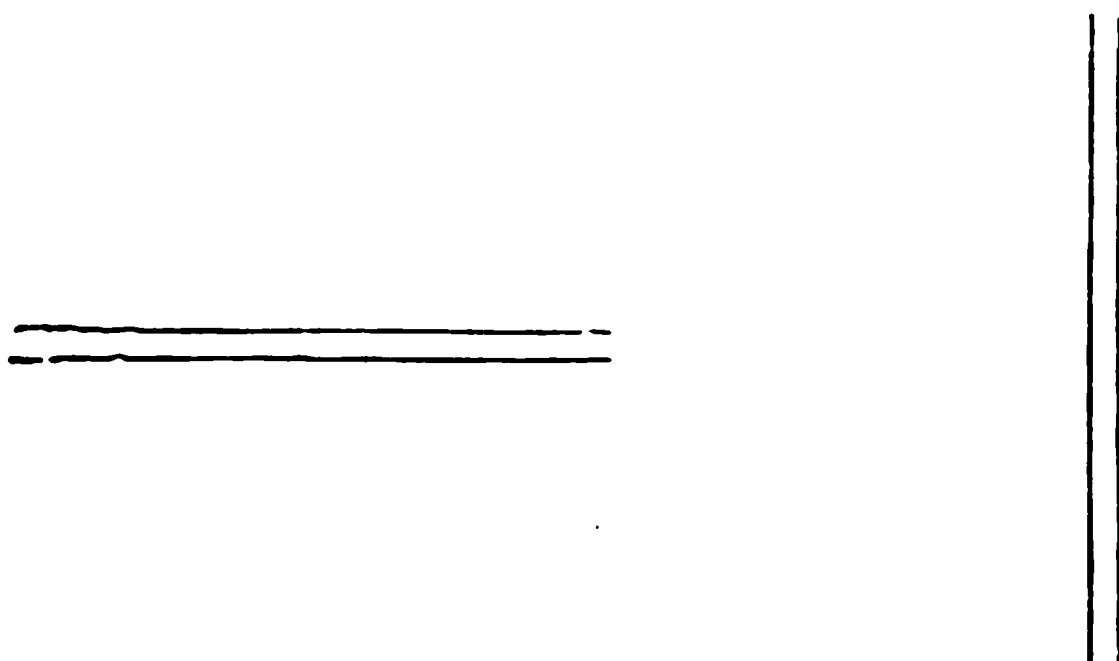






rend und so lange ich in dieser Weise meine Aufmerksamkeit fest auf Quadrate fixire, bleiben sie mir auch im Gesicht. So wie ich im Gegen- eine Ecke oder Seite des Kreuzes in ähnlicher Weise beobachte, verändert das Linienmuster mehr oder weniger vollständig, und ich sehe altend das Kreuz.

Der Wettstreit wird noch auffallender, wenn die beiden sich deckenden ren gleich stark hervortretende Contouren haben. Bringt man zum spiel die beiden Linienpaare der *Fig. 253* zum Decken, so pflegen die sten Beobachter im Anfang nur die senkrechten Linien an der Kreuzungs- le zu sehen, während die horizontalen im Zwischenraum der Vertical- n oder auch selbst noch außerhalb dieses Zwischenraums verschwinden. längerem Fixiren tauchen sie von Zeit zu Zeit auf, während dafür die icalen verschwinden und umgekehrt. Aber auch hier kann ich beliebig Bild des einen oder anderen Paares festhalten, wenn ich meine Auf-



*Fig. 253.*

ksamkeit darauf richte und etwa untersuche, ob irgend welche Unregel- igkeiten an den Linien des einen oder anderen Paares vorkommen.

In complicirter Weise zeigt sich derselbe Wettstreit an den mit ver- eden gerichteten parallelen Linien bedeckten Feldern der *Fig. X, Taf. VIII.*

sieht hier keine gleichmäßige Kreuzung der Linien in dem Gesamt- 770 e, wodurch ein ähnliches Linienmuster, wie das der *Fig. W* derselben d, sich zusammensetzen würde; sondern man sieht meist eine ungleich- ige Mischung beider Muster, so daß an einzelnen Stellen des Feldes eine, an anderen das andere vorherrscht, wobei diese Stellen selbst gens einem fortdauernden Wechsel unterworfen sind. Die schwarzen drate in der Mitte der Felder sollen als Fixationszeichen dienen, wenn Beobachter eine unveränderte Lage beider Felder über einander zu lten wünscht. Ohne einzelne correspondirende und stark hervorstechende ile der Figur ist dies sonst gar nicht möglich, vielmehr schwanken die klinien dann fortdauernd zwischen verschiedenen Graden der Convergenz und her.

Zuweilen tritt auch wohl in ganzer Ausdehnung der Fläche das eine



















































































geübteste Beobachter gewisse einander nahe stehende ähnliche Doppelbilder mit einander untrennbar verschmilzt, während er einander eben so nahe stehende ähnliche Bilder im monocularen Felde, oder in der Färbung verschiedene Bilder im binocularen Felde mit der größten Leichtigkeit von einander unterscheidet. Noch größeren Anstofs haben die Anhänger der Identitätstheorie an der von WHEATSTONE behaupteten Thatsache genommen, daß unter Umständen auch die Eindrücke identischer Netzhautpunkte getrennt und an zwei verschiedene neben einander liegende Stellen des Objects verlegt werden könnten. Daß das letztere aber eine nothwendige Consequenz des ersteren sei und bei richtig angestellten Versuchen auch thatsächlich beobachtet werde, habe ich oben ausgeführt. Man muß nur nicht, wie es von den Gegnern der Behauptung WHEATSTONE's immer geschehen ist, verlangen, daß bei der Trennung identischer Eindrücke viel mehr geleistet werde, als bei der Vereinigung disparater Eindrücke unter gleichen Umständen geleistet werden kann.

Das wesentliche Gewicht der Thatsachen anerkennend, stellte PANUM eine Modification der Identitätstheorie auf, wonach jeder Punkt  $a$  der einen Netzhaut einem gewissen correspondirenden Empfindungskreise  $A$  in der andern identisch sein sollte, so daß das Bild des Punktes  $a$  verschmelzen könnte mit einem Bilde auf jedem einzelnen Punkte von  $A$ , welches ähnliche Contouren darböte. Dabei sollte aber eine verschiedene Tiefenwahrnehmung entstehen, wenn  $a$  mit verschiedenen Punkten des Kreises  $A$  verschmölze. Ob es mit diesem oder jenem verschmölze, sollte davon abhängen, wo sich im Empfindungskreise  $A$  eine Contour vorfände, die der durch  $a$  hinziehenden ähnlich sei. Aus den Wettstreiterscheinungen beweist PANUM die dominirende Macht der Contouren im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beider Augen, wobei er freilich wohl den Sieg der Contouren als zu unbedingt und dauernd betrachtet hat. Wettstreit findet nach ihm hauptsächlich zwischen unähnlichen, aber nahe gleich starken Farben und Contouren statt. Ähnliche streben zu verschmelzen. 807

Wenn man die von PANUM aufgestellten Sätze bloß als zusammenfassenden Ausdruck der Thatsachen ansehen will, was er selbst auch als das Wesentlichere und Wichtigere betont, so sind sie der Hauptsache nach richtig. Ich würde gegen seine Darstellung der Thatsachen nur einzuwenden haben, 1. daß ich mich von der wirklichen Existenz binocularer Mischfarben auch in den von ihm beschriebenen Versuchen nicht habe überzeugen können, 2. daß Herr PANUM keine genügenden Methoden die Aufmerksamkeit zu fesseln, angewendet und daher die große Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei dem Wettstreite der Sehfelder und bei der Unterscheidung der Doppelbilder spielt, nicht genügend erkannt hat, 3. daß er die Augenbewegungen beim Fixiren der Bilder für theilweis unwillkürliche Reflexbewegungen hält, während ich selbst bei mir wohl eine Neigung zu gewissen gewohnheitsmäßigen Stellungen anerkennen kann, die aber nicht im geringsten die Willkür der Bewegung beeinflusst, wenn ich eine andere Stellung der Blick-































Schnittlinie beider Kugeln liegt, in Doppelbildern erscheinen. Diese Projectionen denkt sich NAGEL nun von dem Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Augenmittelpunkte aus angesehen, und je nachdem sich dabei die Doppelbilder decken, oder gekreuzt oder gleichseitig neben einander liegend erscheinen, sollen sie es auch im Gesichtsfelde thun.

NAGEL's Theorie kommt zwar der Wahrheit schon ziemlich nahe; aber einmal ist sie etwas künstlich, da sie eine doppelte Projection voraussetzt, zweitens fehlt in Wirklichkeit die Anschauung einer verschiedenen Entfernung der beiden Doppelbilder, welche NAGEL's Theorie in den meisten Fällen fordert; endlich würde ihr zufolge die Lage der einfach gesehenen Bilder nicht immer genau mit der Wirklichkeit stimmen. Übrigens ist dies wohl der einzige wesentliche Punkt, in welchem meine oben gegebene Theorie von der NAGEL's abweicht.

Die richtige Theorie der Doppelbilder und ihrer Lage wurde dagegen von A. CLASSEN gegeben, wenn auch dabei mit Unrecht die factische Richtigkeit der von HERING angegebenen Phänomene, welche sich auf das scheinbare Centrum der Richtungslinien mitten zwischen beiden Augen beziehen, geleugnet ist. Ich selbst bin zwar, ebenso wenig wie Herr CLASSEN, geneigt, diese Erscheinung zur Grundlage aller unserer Localisationen zu machen, und halte sie nur für eine nebenher gehende Sinnestäuschung, die bei mir selbst auch für das rechte und linke Auge in verschiedenem Grade stattfindet und durch geschärfte Aufmerksamkeit überwunden werden kann; aber es ist eine Täuschung, die wirklich besteht.

Eine wesentlichere Abweichung zwischen der von mir gegebenen Darstellung der Theorie und CLASSEN's ist, daß er den Ortssinn der Netzhaut und die Projection in das Sehfeld als ursprünglich gegeben und nicht erworben betrachtet. Wenn aber die Lage der einzelnen Netzhautpunkte zu einander durch eine angeborene Empfindung gegeben ist, dann ist auch die Identität correspondirender Punkte angeboren, da deren gleiche Lage gegen den Blickpunkt dann ebenfalls ursprünglich in der Empfindung gegeben sein muß. Es hat diese Abweichung indessen auf die Darstellung derjenigen Capitel des Sehens, die CLASSEN ausführlich behandelt, namentlich die Lehre vom Muskelsinn und vom Binocularsehen, keinen Einfluß, und es finden sich bei ihm eine große Menge interessanter Erläuterungen aus der pathologischen Beobachtung für die vorgetragenen physiologischen Lehren. 820

Die der empiristischen Theorie sich anschließenden Ansichten von H. MEYER, DONDERS, VOLKMANN, A. FICK, einzelne Theile der Theorie betreffend, sind jede an ihrer Stelle erwähnt worden.

---



# Sach- und Namenregister.

-----





# Sach-Register.

(Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.)

## A.

1, chromatische, in Linsen  
ge 156—169.  
1, sphärische, der gebroche-  
en 57, 169.  
, farbiges der Nachbilder  
nach momentanem Eindruck  
, nach längerem Eindruck  
nach farbiger Beleuchtung  
nach wiederholtem Eindruck  
530—533.  
, Minimum derselben 292.  
accommodationsbreite 123.  
1 51, der dunklen Wärme im  
-283, der ultravioletten Strahlen  
283—284.  
asfarben, ihr Zustande-  
13, ihre Mischung 313—315.  
es Brennpunktes von der Netz-  
verschiedener Entfernung des  
7—128, der Cardinalpunkte des  
1 einander 89—90. 140, der  
unkte der Krystalllinse 102.  
ng der scheinbar verticalen  
850—854, 863—864, der  
ie von der Augenaxe 91.  
der Sehweiten für horizontale  
cale Linien 173—177, chro-  
nd sphärische siehe Aberration.  
ation 113—156 ihr Mechanis-  
, beobachtet im Augenspiegel  
Breite 119—123, ihre Abhän-  
1 der Convergenz 632, für die  
ler Ruhezustand des Auges 120,  
ihres Mechanismus 136—138,  
als Mittel zur Beurtheilung der  
778.  
ationsbreite 120—121, ab-  
oculare und relative 123.  
ationslinie 114. 766.  
ationsphosphen 239.

Achromasie 57. 156.  
Achromatopsia 359, s. Farbenblindheit.  
Achrupsia 359, s. Farbenblindheit.  
Adaptation 114, s. Accommodation.  
Addition, Begriff derselben 335; der Far-  
ben 316.  
Aderhaut 4. 22, s. Chorioidea.  
Aehnlichste Farben 448 ff.  
Aequatorialaxe des scheinbar verticalen  
Meridians 857, des Netzhauthorizontes  
857.  
Aequatorialebene des Auges 5.  
Aequiluciente Lichteinheiten 432.  
Aeußerer gerader Muskel 43.  
Aeußere granulirte Schicht 32.  
Aeußere Körnerschicht 32.  
Aeußere Nervenzellen 32.  
Alternirendes Schielen 846.  
Ametropie 120.  
Anaglyptoskop 772.  
Andreaskreuzlinien, subjectiv sichtbar  
572.  
Anerythroptia 360.  
Angeborene Ideen 612.  
Anordnung, flächenhafte der gesehenen  
Objecte 673—675. 950.  
Anorthoskop 498. 749.  
Ansatzpunkte der Augenmuskeln 665 ff.  
Anschauen, (Definition) 600.  
Anschauung, (Definition) 609. Zusammen-  
hang mit den Augenbewegungen 877,  
s. Wahrnehmung, innere 577, innere und  
äußere 587.  
Antirheoskop 764.  
Aplanatische brechende Flächen 57.  
169.  
Arteriae ciliares 24—25, centrales retinae  
36, s. Netzhautgefäße.  
Assimilirung 378.  
Astigmatisches Strahlenbündel 174.



Brachymetropie 120.  
 Braun als Farbe 322, 324.  
 Brechende Fläche 53.  
 Brechungscoefficient (Brechungsindex, Brechungsverhältniß, Brechungsvermögen) 54, der Augenmedien 89, 98, totaler und mittlerer der Krystalllinse 102, 106.  
 Brechung des Lichtes 53, an einer Kugelfläche 60 ff., in centrirten Systemen von Kugelflächen 71 ff., in Linsen 81 ff., im Auge 85 ff., in der Hornhaut 88, 92—98, in der Krystalllinse 93 ff., im Scheitel eines Ellipsoids 178, in Prismen 275 f. 289 ff..  
 Brechungswinkel 53.  
 Breitenwinkel 857.  
 Brennebene 59, 68.

Brenngläser 55.  
 Brennlinien 61, auf der Iris sichtbar 135, nicht homocentrischer Strahlen 179.  
 Brennpunkte 57, 67, 74, 77, 78, des Auges 89, wechselnde Entfernung von der Netzhaut 128, für verticale und horizontale Linien verschieden 175, 181.  
 Brennweiten 58, verhalten sich in centrirten Systemen wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mediums 75—76, der Linsen 84 f., des Auges 89, Aenderungen bei der Accommodation 140.  
 Brillen, Historisches über ihren Gebrauch 130, ihre stereoskopische Wirkung 820 bis 822.  
 BUSOLD'scher Farbenkreisel 493.

## C.

Camera obscura 56.  
 Canal godronné, oder Petiti 41.  
 Cardinalpunkte eines optischen Systems 57, ihr Gebrauch 59.  
 Cardinalpunkte des Auges 89, 106—108, des accommodirten Auges 140.  
 Causalgesetz 593.  
 Centrirung des Auges 108—109.  
 Centrirtes System 55.  
 Centrum, optisches einer Linse 82, der Richtungslinien 91, der Visirlinien 115, der Blicklinien 617, der Sehrichtungen 751.  
 Chiasma nervorum optidorum 42.  
 Chorioidea 4, 22, ihre Gefäße im Augenspiegel sichtbar 227, nicht ganz undurchscheinend 193.  
 Chromatische Abweichung s. Aberration.  
 Chromharmonische Scheibe 310.  
 Ciliarfortsätze 23, ihre Rolle bei der Accommodation 148.  
 Ciliarkörper 4.  
 Ciliarmuskel 23, Wirkung bei der Accommodation 136 ff.  
 Circuli arteriosi iridis 25.  
 Collective Flächen 66.  
 Colorimetrische Lichteinheiten 432.  
 Complementärfarben 316 ff., in den Nachbildern 516 ff., durch Contrast 537 ff., 930 ff.  
 Concavconvexe Linsen 83.  
 Concave Glaslinsen 55.  
 Concavlinsen 85.  
 Concavspiegel 65.  
 Concomitirendes Schielen 845.  
 Congruenzebene des Reliefs 807, 818.  
 Conjugirte Vereinigungspunkte 55, 64.

Conjunctiva 43.  
 Continuität der Empfindungsqualitäten 596.  
 Contrast 537 ff., bei starken Farbenunterschieden 548 ff., binocularer 936—938, 944, für Linienrichtungen 714, simultaner 939, 940, simultaner und successiver 538 ff., successiver 939, 940, scheinbare Umkehrung 554, auf kleinem Felde 557 ff., Theorie desselben 564 ff., Historisches 565 f. 1008.  
 Contrastphotometer 423.  
 Convergenz der Augenaxen, Mittel zur Beurtheilung der Entfernung 795 ff. 951, Einfluß auf Raddrehung der Augen 625, Einfluß auf Beurtheilung der Richtung 751 ff., Einfluß auf Accommodation 122 ff.  
 Convexe Glaslinsen 55.  
 Convexlinsen 85.  
 Convexspiegel 65.  
 Cornea 4.  
 Cornealmikroskop von DONDERS 29.  
 Corpus vitreum 40.  
 Correspondirende Bilder beider Augen, ihre Vergleichung zur Prüfung der Augenstellungen 662 ff.  
 Correspondirender Empfindungskreis 892.  
 Correspondirende Linie 896.  
 Correspondirende Meridiane, Kreuzungswinkel derselben 860.  
 Correspondirende Punkte 844 ff. 952, verschieden in das Gesichtsfeld projicirt 885 ff., geometrische Bestimmung ihrer Lage 895 ff., Theorie ihres Ursprungs 914, 952.  
 Correspondirende Punkte und Linien, Gesetze derselben 895—903.

Correspondirende Strecken und Winkel 897.  
Correspondirende Visirlinien und -ebenen 898.

Cyanblau 278.  
Cycloopenauge, imaginäres 756.  
Cylindrische Brillengläser 176. 183

## D.

Dädaleum 495.  
Daltonismus 360, s. Farbenblindheit.  
Dauer der Lichtempfindung 480 ff. 488 ff.  
Deckpunkte 844.  
DEMOURS' Membran 7.  
Denken 600.  
Descemet'sche Haut 7—8.  
Dichromatische Farbensysteme 359. 371. 382. 458 ff.  
Diffraction des Lichtes 51, in der Pupille 180.  
Diffuse Reflexion 51.  
Dilatator pupillae 24.  
Ding an sich 590 ff.  
Dioptrie 122.  
Diplopia monophthalmica 183.  
Directes Sehen 86.  
Directionskreise 651, erscheinen gerade 690 ff.  
Disparate Punkte 844.  
Dispersive Flächen 66.  
Dissimilierung 378.  
Divergenzgesetz bei spiegelnden Flächen 65, bei brechenden Flächen 66.  
Divergenz, optische, der Strahlen 66, der Augen 632 f., Einfluß auf die Tiefenwahrnehmung 799 f.  
DONDERS' Gesetz der Augenbewegungen 619, theoretische Begründung 637.  
Doppelbilder 844. 874, monoculare 171. 760, binoculare 843, gleichnamige und un-

gleichnamige 843, ihre scheinbare Entfernung 867, ihre Verschmelzung 874 ff., Einfluß der Augenbewegungen darauf 888 ff., Richtung, in der sie projiziert werden 894 f.  
Doppelbrechung 49.  
Doppelspalt von HELMHOLTZ 353.  
Doppeltsehen, binoculares 841 ff.  
Drehpunkt des Auges 614 ff., Bestimmung nach DONDERS 656 ff.  
Drehungen, allgemeine geometrische Betrachtung derselben 645 ff.  
Drehungsachsen für die Augenmuskeln 627, 665 ff., Lage ihrer Ebenen nach LISTING's Gesetz 624 f. 648 f.  
Drehungscentrum des Augapfels 614 ff., 656 ff.  
Drehungsgesetz der Augen 619, seine theoretische Begründung 637 ff., seine Prüfung mittels der Nachbilder 657 ff., mittels des blinden Fleckes 660 ff., durch binoculares Sehen 662 ff.  
Druck im Auge 8, Einfluß auf den Blutlauf 238, subjective Erscheinungen, die er hervorruft 237. 758. 761.  
Druckbild 236.  
Ductus nasolacrymalis 44.  
Dunkel 379.  
Dunkelheit 322.  
Dunkle Wärmestrahlen 281.  
Durchsichtigkeit 51.

## E.

Ebenen, correspondirende 899.  
Ebene des Hintergrundes des Reliefs 807, gleichen Höhenwinkels 857, gleichen Breitenwinkels 857.  
Eigenlicht der Netzhaut 242, Einfluß desselben auf die Unterschiedsschwellen 409. 1007, im dunklen Gesichtsfeld 502.  
Eigenschaften der Objecte bestehen in ihren Wirkungen auf andere 588.  
Einfache Farben 275 ff.  
Einfallsebene 53.  
Einfallslot 53.  
Einfallswinkel 53.  
Einheiten gleicher Helligkeit 432.  
Elektrische Reizung des Auges 243 ff.  
Elektrische Ströme des Sehnervenapparates 269.

Elementarerregungen 343.  
Elementarfarben 454 ff.  
Elemente der Empfindung 342.  
Ellipsoid, Brechung an demselben 178.  
Ellipticität der Hornhaut 17.  
Emmetropie 120.  
Empfindungen, subjective schwer zu beobachten 606 ff., zusammengesetzte zu analysiren 608, nicht durch Vorstellung zu beseitigen 611, ihre Bedeutung als Symbole äußerer Qualitäten 234, 586 ff., Modalität derselben 584, Qualitätskreise derselben 584.  
Empfindungskreis, correspondirender 892.  
Empiristische Theorie der Sinneswahrnehmungen 608 f. 613.

Endstrecken im Spectrum 320.  
 Entfernung der Objecte, beurtheilt nach scheinbarer GröÙe 767, nach der Deckung der Objecte 768, nach der Luftperspective 774, nach der Accommodation 778 f., mittels Bewegung 779 f., binocular 781, nach der Convergenz 795 ff.  
 Entoptische Erscheinungen 184.  
 Entoptische Parallaxe, relative 186.  
 Episkotister 417. 942.  
 Erfahrung, Einfluß auf die Wahrnehmungen 609 ff., s. Empiristische Theorie.

Erhebungswinkel des Blickes 617. 655.  
 Erinnerungsbild 948.  
 Ermüdung der Netzhaut durch Licht 508, für Convergenz 802. 951.  
 Erregung der Netzhaut durch Licht 234 ff. 250 ff., mechanische 235, durch innere Ursachen 241 ff., elektrische 243 ff.  
 Erscheinungen, pseudoskopische 773.  
 Erweiterer der Pupille 24.

## F.

Fadenapparat 33.  
 Farben, einfache 275 ff., Festsetzung ihrer Namen 278. 287, Addition derselben 316, ähnlichste 448 ff., complementäre 316 ff., gesättigte 316, inducirte und inducirende 538, kleiner Felder 374, warme und kalte 366, verglichen mit den Tönen der Scala 287 f., ihr Aussehen an der Grenze des Gesichtsfeldes 372, primäre und reagirende 502, der Nachbilder 511 ff.  
 Farbenbezeichnungen, Ursprung derselben 348, 583.  
 Farbenblindheit 359 ff. 367. 371. 382. 458 ff., der Netzhautperipherie 372.  
 Farbeneinheiten 432.  
 Farbenharmonien 308 ff.  
 Farbenkegel 326.  
 Farbenklavier 309.  
 Farbenkreis 325.  
 Farbenkreisel 313. 351. 491 ff.  
 Farbenlinien, kürzeste 463 ff.  
 Farbenmischung 316, binoculare 931, 945.  
 Farbenmischungsgesetz 327 ff., Grenzen der Genauigkeit desselben 375.  
 Farbenpyramide 310. 326.  
 Farbenscheiben, s. Farbenkreisel.  
 Farbensystem 321 ff., normales trichromatisches 357 f. 369 f. 456 ff., anomales trichromatisches 359, dichromatisches 359 ff. 371. 382. 458 ff., monochromatisches 359. 367.  
 Farbentafel 325. 340, Construction derselben 327 ff.  
 Farbentheorie von BREWSTER 304 f. 334, von YOUNG 345 ff., von HERING 376 ff., von GÖTHE 306.  
 Farbenton 322. 324.  
 Farbenunterscheidung auf kleinen Feldern 374.  
 Farbenunterschiede im Spectrum 449, bei sehr schwacher Intensität 471.  
 Farbenwechsel im Nachbilde 504. 516. 521 ff.

Farbenwerth 342.  
 Farbenzerstreuung im Auge 156 f., im Prisma 275 ff. 293 ff.  
 Farbige Nachbilder 516.  
 Farbige Abklingen der Nachbilder 516. 521.  
 Farbige Schatten 551 ff., ihr Einfluß auf Erkennung der Form 773. 792 f. 968.  
 Farbstoffe, Mischung derselben 313 f.  
 Faserige Schicht der Hornhaut 6—7.  
 FECHNER's Gesetz 387 ff., als Ursache von Täuschungen 394 ff., seine Abweichungen für sehr geringe Lichtstärken 409 ff. 1007, seine Abweichungen für hohe Lichtstärken 413 f., Erweiterung desselben 444 ff., benutzt zur Bestimmung der Grundfarben 448 ff., s. Psychophysisches Gesetz.  
 Fensterversuch, seitlicher 943.  
 Fernpunkt 119.  
 Fernrohr, GALILEI'sches 85.  
 Feuchtigkeit, wässerige 4. 39.  
 Fixationspunkt 617. 677, primärer 678.  
 Fixiren 86. 617. 630 f. 670, bewegter Objecte 746 ff., Ungenauigkeit desselben 854. 881 f.  
 Flächen, brechende 53, aplanatische 169, collective und dispersive 66.  
 Flächenhafte Anordnung der gesehenen Objecte 673.  
 Flatternde Herzen 533 f.  
 Fleck, MAXWELL'scher 569.  
 Fliegende Mücken 188.  
 Fluchtlinie 818.  
 Fluchtpunkt 819.  
 Fluorescenz 52. 279.  
 Foramen opticum 42.  
 Form der Hornhaut 17—20.  
 Fortpflanzungsgeschwindigkeit (der Lichtwellen) 49.  
 Fovea centralis 32. 34—36.  
 FRAUNHOFER'sche Linien 277, ihre Wellenlängen 287.  
 Frontalschnitte 616.  
 Fußboden als Horopterfläche 863. 870 ff.



Horopterfläche 811.  
 Horopterkreis 862.  
 Humor aqueus 4. 39.

Humor vitreus 40.  
 Hyaloidea 40.  
 Hypermetropie 120.

## I.

Idealismus 594 f. 612.  
 Ideelle Netzhaut 681.  
 Ideelles Netzhautbild 681.  
 Ideen, angeborene 612.  
 Identische Punkte der Netzhäute 844. 860. 952, verschieden in das Gesichtsfeld projicirt 885 ff., geometrische Bestimmung ihrer Lage 895 ff., Theorie ihres Ursprungs 914. 952 f.  
 Indigblau 278.  
 Indirectes Sehen 87, seine Genauigkeit 260 ff., für Farben 372.  
 Inducirende Farbe 538.  
 Induciren von Lichtempfindungen 513.  
 Inducirte Farbe 538.  
 Inductionen, falsche 602 ff.  
 Inductionsschluss 578 ff. 602.  
 Innenglied der Stäbchen und Zapfen 33.  
 Innerer gerader Muskel 43.  
 Innere granulirte Schicht 32.

Innere Körnerschicht 32.  
 Innervation, Grad derselben 947.  
 Innervationsgefühl 951.  
 Intensität der Lichtempfindung 384 ff., verschiedenes Gesetz für verschiedene Farben 428 ff., des objectiven Lichts 384.  
 Interferenzspectrum, Abweichung vom prismatischen 281.  
 Intermittirende Beleuchtung, scheinbar continuirlich 481 f., zur Beobachtung bewegter Körper 486 ff., giebt Farbenerscheinungen 530 ff.  
 Iris 4. 22 f., ihre Ansatzweise 147, Bestimmung ihrer Form und Lage 25, bei der Accommodation 130. 134. 141. 147' entoptisch sichtbar 187.  
 Irradiation 394 ff. 478 ff., Einfluss auf Täuschungen des Augenmaasses 707 f.  
 Irregulärer Astigmatismus 162.  
 Isochromatische Photometrie 416 ff.

## K.

Kalte Farbe 366.  
 Karminroth 278.  
 Kaustische Linie 61—62.  
 Kernfläche des Sehraums (nach Hering) 963.  
 Keratoskop 177.  
 Klarheit 394.  
 Knotenebene 76.  
 Knotenpunkte 57 f. 68. 76. 79, des Auges 89. 138. 140.  
 Körnerschicht, innere und äußere 32.  
 Kraft (Definition) 592.  
 Kreuzspinnengewebefigur von Purkinje 575.  
 Kreuzungspunkt der Visirlinien 110. 115. 127. 727. 729, der Richtungslinien 91,

der Richtungsstrahlen und Richtungslinien 111.  
 Kreuzungswinkel correspondirender Meridiane 860.  
 Krümmungshalbmesser der Hornhaut 89, der vorderen Linsenfläche 89, der hinteren Linsenfläche 89.  
 Krystallin 38.  
 Krystalllinse, anatomische Beschreibung 4. 38, Brechung in derselben 93. 99 ff., ihre Form an lebenden Augen 102—106, ihre Veränderung bei der Accommodation 132—135, entoptisch gesehen 172. 188, fluorescirend 284. 306.  
 Künstliches Auge 129.  
 Kürzeste Farbenlinien 463 ff.

## L.

Lamina cribrosa 36.  
 Lamprotometer 474.  
 Landschaft, ihre Farben 606 f. 873.  
 Lateral 617.  
 Latitudo der Blickrichtung 618. 655.  
 Lavendelgrau 285.  
 Leitungsfähigkeit der Nervenfasern 232.  
 Leukoskop 368. 872.  
 Licht, allgemeine Eigenschaften desselben

47 ff., intermittirendes 481 ff., primäres und reagirendes 502, homogenes 49. 275, polarisirtes 48, homocentrisches 55.  
 Lichtchaos des dunklen Gesichtsfeldes 242. 502.  
 Lichteinheiten, äquivalente 432, colorimetrische 432.  
 Lichtempfindliche Elemente der Netzhaut 201 f.





## N.

ilder 480 ff., positive und negative 503 ff., ihr Farbenwechsel 504. 521 ff., Dauer 506, farbige 516 ff., Theorien der 534 ff., geben stereoskopische Wahrnehmung 891 f., verursachen successiven Contrast 538 ff., im binocularen Contrast 936 f., verwendet zur Prüfung des Drehungsgesetzes 657 ff. Wirkung des Lichteindrucks 480. Punkt 119.  
 optische Theorie der Sinneswahrnehmung 609 f. 913. 955.  
 Streifen, wandelnde, Goethe's 242.  
 von Nachbilder 481 ff. 503 ff.  
 von Schwankung des Nervenstromes 270.  
 Strahl, optische, eines Strahles 71.  
 Strahlung, motorische und sensible 231.  
 Strahlen, wandernde in der Netzhaut 250. 254.  
 Strom, negative Schwankung 270, der 270.  
 Struktur, anatomische Beschreibung 4.  
 ihre Größenverhältnisse 37—38,

ihre mechanische Reizung 235 ff., innere Reizung und Eigenlicht 241 ff. 409, elektrische Reizung 248 ff., Reizung durch Licht 284 ff., nur in den hinteren Schichten empfindlich 254 f., ideelle 681.  
 Netzhautbild 84, äußerlich sichtbar 86, im Augenspiegel sichtbar 228, ideelles 681.  
 Netzhautgefäße 36—37, entoptisch sichtbar 192 ff., im Augenspiegel sichtbar 227, durch Druck sichtbar 238, ihr Verschwinden 555.  
 Netzhautgrube 32 ff., als Fixationspunkt 86. 228, im Augenspiegel sichtbar 228, entoptisch sichtbar 105. 567 f., Abmessungen 567, bei elektrischer Reizung 247.  
 Netzhauthorizont 618 ff. 679. 752 f. 847 ff., correspondirend in beiden Augen 847, Aequatorialaxe desselben 857.  
 Netzhautperipherie, Farbenblindheit derselben 372.  
 Normale trichromatische Augen 857.  
 Normalfläche RECKLINGHAUSEN's 811. 823—829.

## O.

gerader Muskel 43.  
 schiefer Muskel 43.  
 optisches Spectrum 276.  
 optisches Photometer 474.  
 Opticuspunkt des Blickfeldes 651. 678.  
 Optometer von HELMHOLTZ 10—17, von LOCCUS 20, von JAVAL 176.  
 Optoskop von CRAMER 154.  
 Optotrop 628. 667.  
 optische Ellipsoide 33.  
 optische Axe eines centrirten Systems  
 optisches Bild 55.  
 optische Cardinalpunkte 57.  
 optisches Centrum einer Linse 82.

Optische Divergenz der Strahlen 66  
 Optische Neigung eines Strahles 71.  
 Optogramm auf der Netzhaut 266.  
 Optometer 128—129.  
 Orange 278.  
 Ora serrata retinae 31. 37.  
 Orbita 42.  
 Orientirung, leichteste 638.  
 Orientirung über verticale und horizontale Richtung, monocular 752 ff., binocular 808 ff.  
 Ort, scheinbarer und geometrischer im Blickfelde 678, im Sehfelde 679.  
 Orthoskop von CZERMAK 25.

## P.

Phänakistoskop 494.  
 Phosphen 236.  
 Phosphoreszenz 52.  
 Phosphorescirende Wolken 472.  
 Photometer von BUNSEN 418, von LUMMER und BRODHUN 419—422, von BRÜCKE 422, von WEBER 423.  
 Photometrie 416 ff., 473 ff., heterochrome 428 ff.  
 Pigmentschicht 34.  
 Pigmentkörnchen, ihre Bewegung im Pigmentepithel 268.







- chiedsempfindlichkeit 385 ff.  
 chiedsschwelle 390, verschiedene  
 Farben 402 ff.  
 en 456. 1008.
- Urphänomen von Goethe 306.  
 Ursache (Definition) 592.  
 Urvalenzen 379. 381.  
 Uvea, anatomische Beschreibung 4. 22 ff.

## V.

- ortica 24.  
 entralis, Ort und Dicke derselben
- ciliares 24.  
 igungspunkte, conjugirte 55. 64.  
 fserung durch kleine Oeffnungen  
 im Augenspiegel 217 f.  
 le Linien 616.  
 le stereoskopische Diffe-  
 en 803 f.  
 aler scheinbarer Meridian,  
 torialaxe desselben 857.  
 alhoropter 864. 909.  
 t 279.
- Violette Gläser zur Prüfung der Dis-  
 persion 158.  
 Violettblindheit 361.  
 Violettsehen nach Santoningenuss 361.  
 Violettwerth 342.  
 Virtuelles oder potentielles Bild  
 55. 72.  
 Visirebene 617.  
 Visirlinie 115. 127. 617. 672.  
 Visirlinien, Kreuzungspunkt derselben  
 727. 729, correspondirende 898.  
 Vordere Augenkammer 39.  
 Vorstellung 609. 947, Art ihrer Wahrheit  
 583 ff.

## W.

- ige Feuchtigkeit 4. 39.  
 strahlende, Unterschied vom  
 235, dunkle 281, Grund ihrer Un-  
 arkeit 282 f.  
 eit der Vorstellungen 583 ff.  
 ehmung 576 ff. 947, aus Empfin-  
 und Erfahrung combinirt 608 ff.,  
 relativen Richtung 670 ff., der abso-  
 luten Richtung 741 f., der Tiefendimension
- ehmungstheorie, empiristische  
 613, nativistische 609 f. 613. 955.  
 Farbe 366.  
 blau 279.
- Wasserhaut 7.  
 Weifs 316. 322. Mischungen damit 470 f.  
 Weitsichtigkeit 122.  
 Wellenfläche 50.  
 Wellenlänge 49, der FRAUNHOFER'schen  
 Linien 287, der sichtbaren Grenzen des  
 Spectrums 282 f.  
 Wettstreit der Sehfelder 886. 915—945.  
 954, der Contouren 916, der Farben 924 ff.  
 Willkür der Augenbewegungen 628 ff.  
 Wimpern 44.  
 Winkel, correspondirende 897.  
 Wirklichkeit 592.  
 Wolken, phosphorescirende 472.

## Z.

- , benannte 335.  
 winkel (beim Sehen) nach  
 t 261.  
 SCHI's Linien 298.  
 der Netzhaut 31—34. 205, sind  
 Licht empfindlich 254 f., als räum-  
 Elemente des Sehens 256 ff.  
 faser 33.  
 korn 33.  
 zählung 260.  
 atrope Linie 650.  
 lder, anorthoskopische 749.
- Zerrung am Auge giebt Scheinbewegung  
 743.  
 Zerstreuungsbilder 112 ff.  
 Zerstreuungsgläser 55.  
 Zerstreuungskreise 161, ihre Größe  
 berechnet 125 ff., ihre farbigen Ränder 159,  
 ihre Helligkeit 164 ff., ihre sternförmige  
 Figur 170.  
 Zerstreuungslinsen 85.  
 Zerstreuungsspiegel 65.  
 Zonula Zinnii 4. 31. 41. 136.  
 Zwischenstrecken im Spectrum 320.







































**Z.**

**ZEHENDER, W. v.**, Dimensionen des Auges 9;  
Augenspiegel 220. 227.

**ZINN**, Lichtempfindlichkeit der Netzhaut 274.

**ZOELLNER**, Photometer 476; Täuschung des  
Augenmaasses 708. 709. 741; Erklärung

einer optischen Täuschung durch Augen-  
bewegung 714—715. 749; Schwindel und  
Scheinbewegungen 766.

**ZSCHOKKE**, Farbige Schatten 566.

---





# Berichtigungen.

Von Arthur König.

- 18, Z. 15 v. o. muß  $b$  statt  $\gamma$  stehen.  
 16, „ 2 „ „ „  $\tan \alpha_1$  statt  $\tan \alpha_2$  stehen.  
 18 muß in Gleichung 11b) im Zähler auf der rechten Seite  $(d - f_2)$  statt  $(d - f_1)$  stehen.  
 3 muß die letzte Gleichung lauten:

$$J = \frac{n_2^2}{n_1^2} \cdot H \cdot \frac{Q}{R^2}$$

- 10, Z. 9 v. u. muß Convexspiegel statt Concavspiegel stehen.  
 18, „ 1 „ „ „ Pfeuffer statt Pflüger stehen.  
 10, „ 21 „ o. „ stehen  $2 \cdot s^2 \sqrt{3}$  statt  $2 \cdot 5^2 \sqrt{3}$ .  
 18, „ 1 „ u. „ Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Bd. IV. S. 241 1893 statt Wied. Ann. 33. 1887 stehen.  
 10, Z. 7 v. u. muß statt  $\psi \cdot (\alpha - J)^2$  stehen  $\psi \cdot (\alpha - J)^2 \cdot \alpha$ .  
 „ 3 „ „ ist in dem unter dem Integralzeichen im Zähler stehenden Ausdrucke der Factor  $(\alpha - J)^2$  zu streichen. Bei der Herausgabe seiner gesammelten wissenschaftlichen Abhandlungen (Bd. III. S. 396) hat H. v. HELMHOLTZ die hier durchgeführte Rechnung beträchtlich umgestaltet, ohne jedoch zu einem wesentlich verschiedenen Resultate zu kommen.  
 11, Z. 11 v. u. bis S. 462, Z. 4 v. o. muß nach einer Berichtigung, welche H. v. HELMHOLTZ (Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. Bd. III. S. 517) im Jahre 1892 veröffentlicht hat, ersetzt werden durch Folgendes:  
 „während die dritte den beiden Klassen der Dichromaten und den normalen Trichromaten gemeinsame Grundempfindung  $\mathfrak{B} = V$  ist.

Um nun zu ermitteln, ob diese Grundfarben  $\mathfrak{R}$  und  $\mathfrak{G}$  außerhalb oder innerhalb des nach den Unterschiedsempfindlichkeiten berechneten neuen Farbendreiecks liegen, muß man die Werthe der  $x, y, z$  als Functionen der  $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{B}$  ausdrücken. Wenn man zwei von diesen letzteren Grössen gleich Null setzt und die dritte übrig bleibende dann negative Werthe einer der  $x, y, z$  ergibt, so liegt die betreffende Farbe außerhalb des Dreiecks  $[x, y, z]$ .

Aus den eben angeführten Werthen für  $\mathfrak{R}, \mathfrak{G}, \mathfrak{B}$  folgt

$$\begin{aligned} R &= 0.9157 \cdot \mathfrak{R} + 0.1807 \cdot \mathfrak{G} - 0.0963 \cdot \mathfrak{B} \\ G &= -0.2289 \cdot \mathfrak{R} + 1.2048 \cdot \mathfrak{G} + 0.0241 \cdot \mathfrak{B} \\ V &= \mathfrak{B} \end{aligned}$$

Setzt man diese Werthe in die obigen Gleichungen 9a ein, so ergibt sich

$$\begin{aligned} x &= 0.810 \cdot \mathfrak{R} - 0.280 \cdot \mathfrak{G} + 0.470 \cdot \mathfrak{B} \\ y &= 0.159 \cdot \mathfrak{R} + 0.466 \cdot \mathfrak{G} + 0.376 \cdot \mathfrak{B} \\ z &= 0.200 \cdot \mathfrak{R} + 0.196 \cdot \mathfrak{G} + 0.604 \cdot \mathfrak{B} \end{aligned}$$

Daraus geht hervor, daß, wenn  $\mathfrak{R} = \mathfrak{B} = 0$  und nur die Farbe  $\mathfrak{G}$  übrig bleibt, diese in der That einen negativen Werth des  $x$  hat, und außerhalb des Farben-



**Uebersicht**  
über die  
**gesammte physiologisch-optische Litteratur**  
bis zum Schlusse des Jahres 1894.

---



## Vorbemerkung.

---

Bei der Benutzung der Litteratur-Uebersicht ist Folgendes zu beachten.

Wenn bei Zeitschriften die Bandzahl fehlt, so steht die citirte Abhandlung in dem Jahrgang, unter dem sie eingeordnet ist.

Wird eine in einem bestimmten Jahre erschienene Abhandlung gesucht, so muß stets das vorausgehende, wie auch das nachfolgende Jahr durchgesehen werden, da eine genaue Einordnung nicht immer möglich war, indem oftmals der Titel eines Zeitschriftbandes eine andere Jahreszahl trägt, als diejenige, unter der die einzelnen Hefte erschienen sind.

Die Grenze zwischen „älterer“ und „neuerer“ Litteratur, deren Trennung in manchen Paragraphen ausgeführt werden mußte, bildet in den meisten Fällen das Jahr 1866. Da, wo sie aus besonderen Gründen anders liegt, genügt zur schnellen Orientirung ein Blick auf die vorangestellten Jahreszahlen.

Die bei den Zeitschrifttiteln benutzten Abkürzungen sind zwar nicht gleichmäßig durchgeführt, aber stets so gewählt, daß für jeden auch nur einigermaßen Litteraturkundigen kein Zweifel möglich sein wird.

Die ausländische Litteratur liefs sich leider nicht so vollständig zusammenstellen wie die deutsche; die meisten Lücken werden sich in den Angaben fremdsprachlicher Uebersetzungen deutscher Werke finden.

Bei Werken, welche in zahlreichen Auflagen erschienen sind, war es nicht immer möglich, alle Auflagen anzuführen; doch ist fast ausnahmslos die erste und letzte Auflage angegeben.









	No.
f) Zur Casuistik der Farbenblindheit . . . . .	5158—5223
g) Xantopsie (Santoninwirkung), Erythropsie, Chloropie und Kyanopie . . . . .	5224—5304
h) Praktische Bedeutung und Verbreitung der Farbenblindheit .	5305—5385
<b>§ 21. Von der Intensität der Lichtempfindung.</b>	
1. Psychophysisches Gesetz, Adaptation, untere Reizschwelle, Grösse des Eigenlichtes . . . . .	5386—5564
2. Isochrome und heterochrome Photometrie . . . . .	5565—5675
3. Abhängigkeit der Sehschärfe von der Beleuchtung . . . . .	5676—5703
4. Irradiation . . . . .	5704—5814
<b>§ 22. Die Dauer der Lichtempfindung . . . . .</b>	<b>5815—6074</b>
<b>§ 23. Die Veränderungen der Reizbarkeit . . . . .</b>	<b>6075—6322</b>
<b>§ 24. Vom Contraste . . . . .</b>	<b>6323—6501</b>
<b>§ 25. Verschiedene subjective Erscheinungen . . . . .</b>	<b>6502—6577</b>
<b>§ 26. Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen . . . . .</b>	<b>6578—6638</b>
<b>§ 27. Die Augenbewegungen . . . . .</b>	<b>6639—6859</b>
<b>§ 28. Das monoculare Gesichtsfeld . . . . .</b>	<b>6860—6976</b>
<b>§ 29. Die Richtung des Sehens . . . . .</b>	<b>6977—7101</b>
<b>§ 30. Wahrnehmung der Tiefendimension.</b>	
1. Tiefenwahrnehmung ohne Rücksicht auf die Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder . . . . .	7102—7202
2. Stereoskopie und binoculare Tiefenwahrnehmungen . . . . .	7203—7437
<b>§ 31. Das binoculare Doppeltsehen . . . . .</b>	<b>7438—7677</b>
<b>§ 32. Wettstreit der Sehfelder . . . . .</b>	<b>7678—7752</b>
<b>§ 33. Kritik der Theorien . . . . .</b>	<b>7753—7833</b>



## I.

Werke, welche die gesammte physiologische Optik, grössere Abschnitte oder allgemeine Principien derselben behandeln.

---

1600.  
1. FABRICIUS AB AQUAPENDENTE *De visione*. Ven.
1604.  
2. J. KEPLER. *Paralipomena ad Vitellionem*. Frankf. Cap. 5.
1618.  
3. FRANCISCUS AGUILONIUS. *Opticorum libri sex*. Antwerpiae.
1619.  
4. SCHEINER. *Oculus sive fundamentum opticum, in quo radius visualis eruitur, sive visionis in oculo sedes cernitur et anguli visorii ingenium reperitur*. Oenip.
1669.  
5. F. A. JAN et W. KÜFFNER. *De visu*. Lipsiae.
1686.  
6. G. BRIGGS. *Ophthalmo-graphia, sive oculi ejusque partium descriptio anat., nec non, ejusdem nova visionis theoria*. Lugduni Batavorum.
1687.  
7. FABRICIUS AB AQUAPENDENTE. *Opera omnia anatomica et physiologica*. Lipsiae. S. 187—248.
1788.  
8. J. JURIN. *Essay upon distinct and indistinct vision*. In: R. Smith: *A complete system of optics*. Cambridge 1738. (Deutsch von Kästner. Altenburg 1755.)
1740.  
9. LE CAT. *Traité des sens*. Rouen. 1740. — Amsterdam 1744.
1746.  
10. P. CAMPER. *Dissert. de visu*. Lugd. Batav.
1758.  
11. J. T. C. GRIMM. *De visu*. Gottingae.
1759.  
12. PORTERFIELD. *Treatise on the eye, the manner and phaenomena of vision*. Edinb.
1761.  
13. A. KIRCHER. *Ars magna lucis et umbrae in decem libros digesta*. Amstellodami.
1766.  
14. A. HALLER. *Elementa physiologiae corporis humani*. Lausanne 1757—1766.
1771.  
15. J. F. HASELER. *Betrachtungen über das menschliche Auge*. Hamburg.
1776.  
16. PRIESTLEY. *Geschichte der Optik*. Aus dem Englischen übersetzt, mit Anmerkungen und Zusätzen von KLÜGEL. Leipzig.





















263. MOTT. *Report on bilateral associated movements and on the functional relations of the corpus callosum to the motor cortex.* Brit. med. journ. I. S. 1124.
264. — *Report on associated eye movements by unilateral and bilateral cortical faradization of the monkey's brain.* Brit. med. journ. I. S. 1419.
265. H. MUNK. *Sehphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. kgl. Akad. d. Wiss. in Berlin. S. 53—74.
266. — *Ueber die Functionen der Großhirnrinde.* 2. Aufl. Berlin. A. Hirschwald. 1890.
267. J. L. NUEL. *Localisation de quelques phénomènes morbides dans le cerveau à l'aide des troubles visuels.* Ann. de la soc. méd.-chir. de Liège. S. 208.
268. OBREGIA. *Ueber Augenbewegungen auf Sehphärenreizung.* Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 260—279.
269. PERLIA. *Ansicht des Mittel- und Zwischenhirns eines Kindes mit congenitaler Amaurose.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVI. (4.) S. 217—223.
270. CH. RICHET. *Un cas de cécité expérimentale double chez un chien, avec autopsie.* Rev. phil. XXIX. S. 554—557.
271. SCHMIDT-RIMPLER. *Cortical hemianopsia with secondary degeneration of the optic nerve.* Arch. of Ophthalm. XIX. H. 2 u. 3.
272. STOWELL. *Blindness following cerebro-spinal Meningitis, with recovery after two years.* New York. Med. Journ. 9. Aug.
273. THOMPSON und BROWN. *Experiments upon the cortical sight centre.* Researches of the Loomis Laboratory New York. I. S. 13.
274. H. WILBRAND. *Die hemianopischen Gesichtsfeldformen und das optische Wahrnehmungszentrum.* Wiesbaden. Bergmann. 1890.
275. ZERELITZKY. *Experimentelle Untersuchungen über die Function der Hirnrinde des Occipitallappens der Hemisphäre bei höheren Thieren.* (Diss. Petersburg. Russisch.) Refer. in Arch. Psychiatr. Neurol. i sudebnoj Psychopatol. XVI. 1. S. 151. — Oestreich-ungar. Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 29. S. 546.  
1891.
276. G. W. M'CASKEY. *Hemianopsie, ein diagnostisches Merkmal von Hirnerkrankung.* The Amer. Lancet. 1891. März.
277. M. v. GONZENBACH. *Zur Lehre von der einseitigen Amaurose. Intracranieller Opticus- und Chiasma-Tumor.* Diss. Basel. 52 S.
278. A. GROENOUW. *Ueber doppelseitige Hemianopsie centralen Ursprunges.* Arch. f. Psychiatr. Bd. 23. S. 339—367.
279. P. GROSCH. *Eine Herderkrankung des Gehirns mit Ophthalmoplegie und Opticus-Atrophie.* Diss. Jena. 29 S.
280. O. HAAB. *Der Hirnrindenreflex der Pupille.* Zürich, Müller. 8 S.
281. J. HIRSCHBERG. *Ueber Sehstörungen durch Gehirngeschwulst.* Neurol. Centralbl. X. S. 450—455.
282. S. KIRILZEW. *Zur Casuistik der Sehhügel-Affectionen.* (Russisch.) Medicinskoje Oboszenije. No. 4.
283. J. P. MORAT und M. DOYON. *Le grand sympathique nerf accomodateur.* Arch. de Physiol. (5.) III. S. 507—522.
284. MOTT u. SCHAEFER. *On associated eye-movements produced by cortical faradization of the monkey's brain.* Brain. XIII. S. 165.
285. H. MUNK. *Sehphäre und Raumvorstellungen.* Intern. Beitr. z. wiss. Med. (Virchow-Festschrift). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.
286. H. D. NOYES. *Hemianopsia.* N. Y. Med. Record. 4. April.
287. CH. A. OLIVER. *Ein Fall von intracranieller Neubildung, localisirt durch oculare Symptome.* (Uebersetzt von A. Weiland.) Knapp u. Schweigger Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIV. S. 157—160.
288. PERLIA. *Ueber die Beziehungen des Opticus zum Centralnervensystem.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXIX. S. 191—202.  
1892.
289. CH. ST. BULL. *Contribution to the subject of intracranial lesions, with defects in the visual fields. Five cases with autopsies.* Transact. of Americ. ophthalm. soc. XXVIII. S. 268.
290. A. CHAUVÉAU. *Sur l'existence de centres nerveux distincts pour la perception des couleurs fondamentales du spectre.* France Médicale. No. 50. S. 787. Compt. Rend. Bd. 115. S. 908.



## III.

## Specielle Litteratur zur physiologischen Optik.

## § 1.

## Formen des Sehorgans im Allgemeinen.

## 1. Historisches.

1877.

2. H. MAGNUS. *Historische Tafeln zur Anatomie des Auges.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XV. Beilage-Heft. 17 S.

1878.

3. H. MAGNUS. *Die Anatomie des Auges bei den Griechen und Römern.* Leipzig. Veit & Co. 1878. 67 S.  
 4. SZOKALSKI. *Die Kenntnisse des Baues und der Functionen des menschlichen Auges im Altertum und Mittelalter.* Medycyna. 1878. S. 107.

**Entwicklungsgeschichte; allgemeine, specielle und vergleichende  
Anatomie der Thieraugen.**

1715.

5. G. BIDLOO. *De oculis et visu variorum animalium observationes physico-anatomicae.* Lugduni Bat.

1808.

6. J. A. ALBERS. *Ueber den Bau der Augen verschiedener Thiere.* Münch. Acad.

1826.

7. M. DE SERRES. *Ueber die Augen der Insekten.* Aus d. Französ. v. DIEFFENBACH. Berlin.

8. J. MÜLLER. *Zur Physiologie des Gesichtssinnes.* Leipzig. S. 315.

1885.

9. R. WAGNER. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.*

1840.

0. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 305.

1. F. WILL. *Beiträge zur Anatomie der zusammengesetzten Augen mit facettirter Hornhaut.* Erlangen.

1848.

2. R. WAGNER. *Lehrbuch der speciellen Physiologie.* S. 383.

1848.

3. V. SIEBOLD U. STANNIUS. *Lehrbuch der vergleichenden Anatomie.* Berlin.

1852.

4. BERGMANN U. LEUCKART. *Anatomisch-physiologische Uebersicht des Thierreichs.* Stuttgart.

1856.

5. F. DUJARDIN. *Remarques sur certaines dispositions de l'appareil de la vision chez les insectes.* Compt. Rend. XLII. 941. Inst. 194.

1866.

6. F. PLATEAU. *Sur la vision des poissons et des amphibies.* Mondes. (2.) XII. 158—162. Arch. sc. phys. XXVII. 191—193. Compt. Rend. II. S. 449.





352. J. CARRIÈRE. *On the eyes of some invertebrata*. The quaterl. Journ. of microsc. Sc. XXIV. S. 678.
353. G. V. CIACCIO. *Osservazioni anatomiche comparative intorno agli occhi della Talpa illuminata (T. europaea) e a quelli della Talpa cieca (T. coeca)*. Mem. d. Acad. Reale delle scienze. Bologna. (4.) VI. S. 31—35.
354. R. HILBERT. *Ueber die nach der Geburt eintretenden entwicklungsgeschichtlichen Veränderungen der brechenden Medien und des Augenhintergrundes der Katze*. Graefe's Arch. f. Ophth. XXX. 3. S. 245.
355. C. HILGER. *Beiträge zur Kenntniss des Gastropodenauges*. Morphol. Jahrb. X. S. 351—371.
356. H. GRENACHER. *Abhandlungen zur vergleichenden Anatomie des Auges. I. Die Retina der Cephalopoden*. Halle. Niemeyer. 1884. 50 S.
357. POUCHET. *Organes visuels des êtres unicellulaires*. (Soc. de Biol. 27. Oct.) Gaz. hebdom. S. 726.

1885.

358. J. CARRIÈRE. *Die Sehorgane der Thiere*. München. Oldenbourg. 1885. 147 Abb. u. 1 Taf.
359. S. J. HICKSON. *The retina of insects*. Nature. London. XXXI. S. 341.
360. — *The eye and optic tract of insects*. The quarterl. Journ. of microsc. Sc. April. S. 215—251.
361. E. R. LANKASTER. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes*. Nature. XXXI. S. 504 u. 578.
362. B. T. LOWNE u. S. J. HICKSON. *The compound vision and morphology of the eye in insects*. Nature. XXXI. S. 433.
363. F. PLATEAU. *Recherches expérimentales sur la vision chez les insectes*. Brüssel. F. Hayez. 1885.
364. — *Können die Insekten die Formen der Objekte erkennen?* Bullet. de l'Acad. roy. de Belgique. (3.) X. S. 231.
365. E. A. SCHAFER. *Mr. Lowne on the morphology of insects' eyes*. Nature. XXXII. S. 3—4.
366. H. VIRCHOW. *Mittheilungen zur vergleichenden Anatomie des Wirbelthierauges*. 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Straßburg. Tageblatt.

1886.

367. PH. BERTKAU. *Beiträge zur Kenntniss der Sinnesorgane der Spinnen*. Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 589—631.
368. W. B. CANFIELD. *Vergleichend anatomische Studien über den Accommodationsapparat des Vogelauges*. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 28. S. 121—170.
369. J. CARRIÈRE. *Kurze Mittheilungen aus fortgesetzten Untersuchungen über die Sehorgane*. Zool. Anz. No. 217, 220, 229, 230. S. 141—147, 220—223, 479—481, 496—500.
370. G. V. CIACCIO. *Sur la fine structure des yeux des diptères*. Journ. de micrographie. No. 3, 5, 9 u. 10.
371. A. FOREL. *Expériences et remarques critiques sur les sensations des insectes. 1. Theil*. Rec. zool. suisse. IV. S. 1—50.
372. — *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét. des sc. nat. S. 128.
373. H. GRENACHER. *Das Auge der Heteropoden*. Abh. der naturf. Ges. zu Halle. 65 S.
374. W. PATTEN. *Eyes of molluscs and arthropods*. Mitth. a. d. zool. Stat. zu Neapel. VI. S. 542—756.
375. F. PLATEAU. *Recherches sur la perception de la lumière par les Myriopodes aveugles*. Journ. de l'Anat. et de Physiol. S. 431.

1887.

376. F. E. BEDDARD. *Note on a new type of compound eye*. Ann. and mag. of nat. hist. XX. No. 117. S. 233—236.
377. E. L. MARK. *Simple eyes in arthropods*. Bull. of the Museum of comp. zool. at Harvard College. XIII. No. 3.
378. W. PATTEN. *On the eyes of molluscs and arthropods*. Zool. Anz. No. 251. S. 256—261.
379. P. SCHIEFFERDECKER. *Ueber das Fischauge*. Verh. d. 1. Vers. d. anat. Ges. zu Leipzig. S. 381.



411. S. EXNER. *Die Physiologie der facettirten Augen von Krebsen und Insecten.* Leipzig u. Wien. 1891. 206 S. 7 Taf. u. 23 Holzschn.  
 412. HIRSCHBERG. *Ueber das Auge des Kätzchens.* (Verh. d. Physiol. Ges.) Du Bois' Arch. S. 351—357.  
 413. P. MARTIN. *Die Entwicklung der Netzhaut bei der Katze.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 25—41.  
 414. K. W. SCHLAMPP. *Beiträge zur Anatomie des Auges vom Grottenolme.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 73—76.  
 415. H. VIALLANES. *Sur la structure de l'oeil composé des crustacés macroures.* Compt. Rend. CXII. S. 1017—1020.

## 1892.

416. E. A. ANDREWS. *On the eyes of Polychaetous Annelids.* Journ. of Morphol. VII. 2. S. 169.  
 417. C. CLAUS. *Ueber die Gattung Miracia Dana mit besonderer Berücksichtigung ihres Augen-Baues.* Wien. Hölder. 18 S.  
 418. S. FUCHS. *Ueber einige neuere Fortschritte in der Anatomie und Physiologie der Arthropodenaugen.* Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 351—378.  
 419. E. GOEPPERT. *Untersuchungen über das Sehorgan der Salpen.* Morphol. Jahrb. XIX. II. S. 250.  
 420. C. KOHL. *Das Auge von Petromyzon Planeri und von Myxine Glutinosa.* Dissert. Leipzig. 57 S.  
 421. — *Rudimentäre Wirbelthieraugen.* Bibliotheca zoologica. Heft 13. Kassel. Fischer. 141 S.  
 422. W. A. NAGEL. *Die niederen Sinne der Insekten.* A. Moser (Franz Pietzcker). Tübingen. 68 S.  
 423. F. PURCELL. *Ueber den Bau und die Entwicklung der Phalangidenaugen.* Zool. Anz. XV. No. 408. S. 461.  
 424. K. W. SCHLAMPP. *Das Auge des Grottenolmes.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 53. 4. S. 537—558.  
 425. O. SCHULTZE. *Zur Entwicklungsgeschichte des Gefäßsystems im Säugethier-Auge.* Festschr. f. KÖLLIKER. Leipzig. Engelmann. 41 S.

## 1893.

426. TH. ADENSAMER. *Ueber das Auge von Sentigera coleoptrata.* Verh. d. Zool. Bot.-Ges. in Wien. 1893. 1. Sitzgs.-Ber. S. 8.  
 427. E. BÉRANECK. *L'individualité de l'oeil pariétal.* Anat. Anz. VIII. S. 669—677.  
 428. C. CHUN. *Leuchtorgan und Facettenauge. Ein Beitrag zur Theorie des Sehens in großen Meerestiefen.* Biol. Centralbl. XIII. S. 544—571.  
 429. L. JOUBIN. *Note sur une adaptation particulière de certains chromatophores chez un céphalopode (l'oeil thermoscopique de Chiroteuthis Bomplandi Vérany?).* Bull. de la soc. zool. de France. Tome XVIII. 1893.  
 430. A. KLINCKOWSTRÖM. *Beiträge zur Kenntniss der Augen von Anableps tetraphthalmus.* Skand. Arch. f. Physiol. V. S. 67—70.  
 431. C. KOHL. *Rudimentäre Wirbelthieraugen.* Bibl. zool. v. Leuckart u. Chun. 13. u. 14. Heft. 1. Lfrg. Stuttgart. Nägele.  
 432. L. MATTHIESSEN. *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkäfers.* Nach der Exner'schen Theorie des aufrechten Netzhautbildes. Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturgesch. in Mecklenburg. 46. (2.) S. 100—104.  
 433. — *Die physiologische Optik der Facettenaugen unseres einheimischen Leuchtkäfers.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 186—191.

## 1894.

434. A. KIESEL. *Untersuchungen zur Physiologie des facettirten Auges.* (Aus Sitzgs.-Ber. d. Kgl. Akad. d. Wiss.) Diss. Marburg. 1894. 43 S. Wien. F. Tempsky. 43 S.  
 435. A. KLINCKOWSTRÖM. *Beiträge zur Kenntniss des Parietalauges.* Zool. Jahrb. Abth. f. Anat. VII. 2. S. 249.  
 436. M. v. LENHOSSÉK. *Zur Kenntniss der Netzhaut der Cephalopoden.* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 58. S. 636—661. Vorl. Mittheilung: Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1894. S. 110—114.



1726.

452. F. P. DU PETIT. *Mémoire sur plusieurs découvertes faites dans les yeux de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 375.

1728.

453. F. P. DU PETIT. *Différentes manières de connoître la grandeur des chambres de l'humeur aqueuse dans les yeux de l'homme.* Mém. de l'Acad. d. sc. de Paris. S. 408.

1780.

454. F. P. DU PETIT. *Mémoire sur le cristallin de l'oeil de l'homme, des animaux à quatre pieds etc.* Mém. de l'Acad. d. Sciences. S. 4.

1788.

455. JURIN. *Essay upon distinct and indistinct vision.* S. 141 in SMITH'S Complete System of Optics.

1789.

456. HELSHAM. *A Course of Lectures on Natural Philosophy.* London 1739.

1740.

457. WINTRINGHAM. *Experimental inquiry on some parts of the animal structure.* London 1740.

1801.

458. TH. YOUNG. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. S. 23.

1818.

459. D. W. SOEMMERING. *De oculorum hominis animaliumque sectione horizontali.* Göttingen 1818. S. 79\*.

1819.

460. CHOSSAT. *Sur la courbure des milieux réfringents de l'oeil chez le boeuf.* Ann. de chim. et phys. X.

461. D. BREWSTER. *Edinburgh Philosoph. Journal.* 1819. No. I. S. 47.

1828.

462. PURKINJE. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei.* Vratislaviae. 1828.

463. G. R. TREVIRANUS. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge.* Bremen. 1828. Heft I. S. 20\*. — Hier sind auch die Resultate der älteren Beobachter zusammengestellt.

1882.

464. C. KRAUSE. *Bemerkungen über den Bau und die Dimensionen des menschlichen Auges.* Meckel's Arch. f. Anat. u. Physiol. Bd. VI. S. 86\*. (Beschreibung der Methode und Messungen an zwei Augen.) Auszug davon in Pogg. Ann. Bd. XXXI. S. 93\*.

1836.

465. C. KRAUSE. *Ueber die Gestalt und Dimensionen des Auges.* Poggd. Ann. Bd. XXXIX. S. 529\* (Messungen an acht menschlichen Augen).

1840.

466. R. H. KOHLRAUSCH. *Ueber die Messung des Radius der Vorderfläche der Hornhaut am lebenden menschlichen Auge.* Oken's Isis. Jahrg. 1840. S. 886\*.

1841.

467. R. H. KOHLRAUSCH. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges.* Berlin. S. 16—93.

1846.

468. SENFF. R. Wagner's Handwörterbuch d. Physiol. Bd. III. Abth. 1. Art.: Sehen. S. 271\*.

1847.

469. E. BRÜCKE. *Beschreibung des menschlichen Augapfels.* S. 4 u. 45\*.

1855.

470. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Accommodation des Auges.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I (2.) S. 3.

1856.

471. W. ZEHENDER. *Anleitung zur Dioptrik des Auges.* Erlangen.

1857.

472. F. ABLT. *Zur Anatomie des Auges.* Arch. f. Ophthalm. III. (2.) S. 87.

1858.

473. NUNNELEY. *On the organs of vision.* London. S. 129.









564. HÖLTZKE. *Experimentelle Untersuchungen über den intraocularen Druck*. Verh. d. Physiol. Ges. zu Berlin, 22. Mai 1885.  
 565. E. JAVAL. *Mensuration de la courbure de la cornée*. Gaz. d. Hôp. S. 1011.  
 566. L. ISSEKUTS. *Ophthalmometrie-Tafeln*. Szemézet. S. 87.  
 567. PROUFF. *Kératoscope*. Arch. d'Ophthalm. S. 182.  
 568. — *Sclérotoscopie*. Arch. d'Ophthalm. 1885. S. 165.  
 569. SCHIÖTZ. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen*. Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.

1886.

570. G. ALBERTOTTI. *Determinazione pratica dell'angolo  $\alpha$* . Rasseg. di sc. med. I. S. 253.  
 571. L. BELLARMINOW. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung des intraocularen Drucks*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 39. S. 449—472.  
 572. J. BOEDEKER. *Vergleichende Druckmessung in der vorderen Kammer und dem Glaskörper des Auges*.  
 573. BOURGEOIS und TSCHERNING. *Recherches sur les relations qui existent entre la courbure de la cornée, la circonférence de la tête et de la taille*. Ann. d'Ocul. Bd. 96. S. 203.  
 574. F. DENTI. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo*. Gazz. med. Ital. Lomb.  
 575. LEROY. *Sur l'ophthalmomètre de précision*. Ann. d'Ocul. Bd. 95. S. 209.  
 576. PR. SMITH. *A keratometer*. Ophthalm. Rev. S. 316.  
 577. M. TSCHERNING. *Ueber die Abhängigkeit zwischen der Krümmung der Cornea, der Körperhöhe und dem Umfang des Kopfes*. Kopenhagen. Hosp. tid. No. 48.  
 578. W. UTHOFF. *Ueber eine neue Bestimmungsmethode des Winkels  $\gamma$  zwischen der Blicklinie und der durch den Hornhautmittelpunkt gehenden Senkrechten*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXIV. 304—309.  
 579. WEISS. *Ueber den Einfluss der Spannung der Augenlider auf die Krümmung der Hornhaut und damit auf die Refraction des Auges*. Ber. d. Ophthalm. Ges. zu Heidelberg. 1886. S. 72.  
 580. W. ZEHENDER. *Eine binoculäre Cornealoupe*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 504.

1887.

581. L. BELLARMINOW. *Verbesserter Apparat zur graphischen Untersuchung des intraoculären Drucks und der Pupillenbewegung*. Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 126. Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 181.  
 582. CUIGNET. *Des images kératoscopiques*. Ann. d'Ocul. Bd. 97. S. 229. Und: Rec. d'Ophthalm. S. 262.  
 583. F. DENTI. *Nuovo cheratoscopio registratore semplicissimo*. Ann. di Ottalm. XV. 5/6. S. 588.  
 584. E. JAVAL. *Sur l'ophthalmométrie pratique*. Soc. franç.  
 585. M. TSCHERNING. *Ophthalmométrie*. Soc. franç. d'Ophthalm. S. 199.  
 586. — *Contribution à l'ophthalmométrie pratique*. Soc. franç. d'ophthalm. S. 11.  
 587. H. WESTIEN. *Ophthalmometerplattenmodell nach Prof. Aubert*. Zeitschr. f. Instrum.-Kde. VII. S. 52.  
 588. W. ZEHENDER. *Beschreibung der binocularen Cornealoupe*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 496.

1888.

589. L. BELLARMINOW. *Vervollkommneter Apparat für die graphische Untersuchung des intraocularen Druckes und der Pupillenbewegung*. (Russisch.) Westnik. ophthalm. V. 2. S. 142.  
 590. M. S. BURNETT. *An analysis of 576 cases of the refraction of healthy human corneae, examined with the ophthalmometer of Javal and Schiötz*. Americ. Journ. of Ophthalm. S. 199.  
 591. E. DESJARDINS. *De la kératoscopie comme moyen de diagnostic dans l'astigmatisme*. Gaz. méd. de Montréal. II. S. 214.  
 592. W. EISSEN. *Hornhautkrümmung bei erhöhtem intraocularem Druck*. Inaug.-Diss. Bern. 1888. — Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. 2. S. 1.  
 593. E. JAVAL. *Ueber Ophthalmometrie*. Ber. d. 7. internat. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 25.  
 594. — *Ophthalmometer*. Rec. d'Ophthalm. S. 315.  
 595. — *Un perfectionnement à l'ophthalmomètre*. Compt. Rend. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 237.



627. J. B. STORY. *The ophthalmometer in practice.* Ophthalm. Rev. No. 117. S. 193.
628. D. E. SULZER. *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. Tome XI. S. 419—435.
629. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Progr. méd. No. 19—20. — Rec. d'ophthalm. No. 5. S. 282.
630. TSCHERNING. *Théorie mathématique de l'ophthalmométrie de la cornée.* Enthalten in Javal, Mém. d'ophthalmométrie. S. 573—618. 1892.
631. E. J. BISSELL. *Observations with Javals ophthalmometre.* Journ. of Ophthalm. Oct. 1892.
632. A. E. DAVIS. *Javals ophthalmometre and atropine in determining errors of refraction with an incidental notice on eye strain and graduated tenotomie.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 15. S. 396.
633. H. DERBY. *Recent added facilities for the examination of the eye. I. The Ophthalmometer of Javal-Schiötz. II. The Phorometer of Stevens. III. The Arc-Light adapted for the Ophthalmoscope.* Boston med. and surg. Journ. of June 9. 1892.
634. F. B. EATON. *Some practical uses of the ophthalmometer of Javal-Schiötz.* Med. Rec. 12. Nov.
635. R. GREEFF. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Anat. Abt. Jahrg. 1892. S. 113—136.
636. HIGHET. *L'ophthalmomètre de poche du Dr. Reid.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 174—176.
637. MAKLAHOFF. *Contribution à l'ophthalmotonométrie.* Arch. d'ophthalm. XII. S. 321 bis 349.
638. SULZER. *Der Einfluss des Winkels  $\alpha$  auf die Resultate der Ophthalmometrie und dessen Bestimmung vermittelt des Ophthalmometers.* Verh. des X. internat. Congr. Bd. IV. S. 138.
639. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil. 1892.
640. — *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. 2. Partie: Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 32—50.
641. C. M. THOMAS. *A few observations on the use of Javals ophthalmometre.* Journ. of ophthalm. Oct. 1892.
642. W. WALDEYER. *Ueber die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Kunst.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Acad. S. 45—46.
643. J. H. WOODWARD. *The Ophthalmometer of Javal and Schiötz and the diagnosis of astigmatism.* New York med. Journ. Vol. LVI. No. 3. S. 66. 1893.
644. BECCARIA. *Änderung der Hornhautkrümmung bei Vortreibung des Augapfels nach vorn.* Ann. di Ottalm. XXII. 1.
645. H. BERTIN-SANS. *Les variations que subissent sous l'influence de l'âge les rayons de courbure du cristallin.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 240—244.
646. B. BURBO. *Recherches sur la relation entre la courbure de la sclérotique et celle de la cornée dans le méridien horizontal.* Diss. Clermont. 1893. — Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 49—65.
647. S. M. BURNETT. *Ophthalmometry in the United States and its championship.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. S. 5.
648. H. C. CHAPMAN & A. P. BRUBAKER. *The radius of curvatures of the cornea.* Proc. Acad. of Nat. Sc. Philad. Sept. 26.
649. J. H. CLAIBORNE. *A hand ophthalmometer and retinoscope combined.* New York med. Journ. Vol. LVIII. S. 378.
650. ERIKSEN. *Hornhinde maolinger (Messung der Hornhaut).* Diss. Aarhus. 1893. — Nord. med. Arch. XXV. 4.
651. D. W. HUNTER. *The Ophthalmometer.* New York med. Journ. Vol. LVII. S. 49.
652. L. J. LAUTENBACH. *A few thoughts about ophthalmometry, as to what the Javal instrument will do and what it will not do.* Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. X. No. 9. S. 278. — Ophthalm. Rec. Vol. III. S. 201.
653. — *The value of ophthalmometer in the determination of the axis and the amount of astigmatism.* New York med. Journ. No. 766. S. 156.







730. MORIGGIA. *Die Bewegungen der Iris und ihr Mechanismus.* Moleschott's Unters. z. Naturl. d. Menschen u. d. Thiere. XIII. 1. S. 1.
731. H. MUNK. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Verh. d. physiol. Ges. zu Berlin. 1882/83. S. 2.
732. PARINAUD. *De l'exagération des réflexes pupillaires.* Gaz. des Hôp. Rec. d'Ophth. S. 688.
733. PARROT. *Sur un phénomène pupillaire observé dans quelques états pathologiques de la première enfance.* Rev. de méd. S. 809.
734. M. PREUSSE. *Ueber das Tapetum des Haussäugethiere.* Arch. f. Thierheilkde. VIII. S. 264—280.
735. SCHADOW. *Beiträge zur Physiologie der Irisbewegung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXVIII. (3.) S. 183.
736. M. v. VINTSCHGAU. *Weitere Beobachtungen über die Bewegung der eigenen Iris.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXVII. S. 184—197.

1888.

737. W. v. BECHTEREW. *Ueber den Verlauf der die Pupille verengenden Nervenfasern und über die Localisation eines Centrums für die Iris und Contraction der Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXI. S. 60.
738. A. GRÜNHAGEN. *Die Nerven der Ciliarfortsätze des Kaninchens.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXII. S. 369.
739. MERCANTI. *Recherches sur le muscle ciliaire des reptiles.* Arch. Ital. de Biol. IV. S. 197.
740. P. J. MÖBIUS. *Notiz über das Verhalten der Pupille bei alten Leuten.* Centralbl. f. Nervenheilkde. No. 15.
741. MOELI. *Bemerkungen zur Untersuchung der Pupillenreaction.* Berl. klin. Wochenschr. No. 6.
742. H. MUNK. *Ueber das Tapetum der Säugethiere.* Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. S. 125.

1884.

743. A. GRÜNHAGEN u. R. COHN. *Ueber den Ursprung der pupillen-dilatirenden Nerven.* Centralbl. f. Augenheilkde. S. 165.
744. S. MAYER u. F. PRIBRAM. *Studien über die Pupille.* Prag. Zeitschr. f. Heilkde. V. S. 15.
745. SHEGLINSKY. *Die Bewegungen der Pupille.* Diss. Kasan.

1885.

746. J. AITKEN. *The pupil of the Eyes during Emotion.* Nat. XXXI. 553.
747. L. BELLARMINOW. *Anwendung der graphischen Methode bei Untersuchung der Pupillenbewegung.* Photochoreograph. Pflüger's Arch. Bd. 37. S. 107—122.
748. A. BERTILLON. *La couleur de l'iris.* Rev. scientif. XXXVI. S. 65.
749. F. BOÉ. *Quelques recherches sur la couche pigmentaire de l'iris et sur le soi-disant muscle dilatateur de la pupille.* Arch. d'ophth. V. S. 311.
750. FERRIER. *Dilatatornerves of the iris.* Proc. of the Roy. Soc. XXXV. S. 229.
751. J. JEGOROW. *Wirkung der langen Ciliarnerven auf die Erweiterung der Pupille.* Gaz. lek. Warszawa. (2.) V. S. 409. Diss. Kasan.
752. JESSOP. *Pupillary movements associated with extrinsic movements.* Ophth. rev. Lancet. II. S. 996.
753. P. KASCHANOWSKI. *Einwirkung der Cervicalportion des Nervus sympathicus auf die Pupille.* Med. pribav. k. morsk. sborniku. St. Petersburg. Aug.-Sept. S. 119, 161.
754. N. KOVALEWSKY. *Influence du système nerveux sur la dilatation de la pupille.* Arch. slav. de Biol. I. S. 92, 575.
755. SCHMEICHLER. *Klinische Pupillenstudien.* Wien. med. Wochenschr. S. 1179, 1209, 1246, 1275.
756. S. WILKS. *The pupil of the eyes during emotion.* Nat. XXXI. 458.
757. N. ZEGLINSKI. *Experimentelle Untersuchung über die Irisbewegung.* du Bois' Arch. Jahrg. 1885. 1—37.

1886.

758. W. v. BECHTEREW. *Rétrécissement réflexe de la pupille par la lumière.* Arch. slaw. de biol. I. S. 356.
759. J. DOGIEL. *Neue Untersuchungen über den pupillenerweiternden Muskel der Säugethiere und Vögel.* Arch. f. mikrosk. Anat. XXVII. S. 403.





## 1892.

790. A. GRÜNHAGEN. *Ueber die Mechanik der Irisbewegung*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 53. S. 348—360.
791. J. N. LANGLEY u. H. K. ANDERSON. *Dilatation of the pupil*. Proc. of the Physiol. Soc. Mai. 1892.
792. — *On the mechanism of the movements of the iris*. Journ. of Physiol. XIII. S. 513—553.
793. PH. LIMBOURG. *Kritische und experimentelle Untersuchungen über die Irisbewegungen und über den Einfluss von Giften auf dieselben, besonders des Cocain*. Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmacol. Bd. XXX. S. 93—125.
794. L. LITTAUER. *Du mouvement de l'iris*. Thèse de Paris. 1892.
795. E. STEINACH. *I. Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie der Iris. — II. Mittheilung über die directe motorische Wirkung des Lichtes auf den Sphincter pupillae bei Amphibien und Fischen*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 52. S. 495—525.

## 1893.

796. P. BAJARDI. *Contribution à l'histologie comparée de l'iris*. Arch. Ital. de Biol. XIX. S. 210—213.
797. E. P. BRAUNSTEIN. *Beitrag zum Studium der Innervation der Pupillenbewegungen*. (Russisch.) Charkow.
798. G. DURAND. *Disposition et développement des muscles dans l'iris des oiseaux*. Journ. de l'Anat. et de la Physiol. XXIX. S. 604—636.
799. G. RETZIUS. *Zur Kenntniss vom Bau der Iris*. Biol. Unters. (N. F.) V. No. 7.
800. F. SPALITTA u. M. CONSIGLIO. *Ricerche sopra nervi costrittori della pupilla*. Arch. d'Ottalm. I. S. 19.
801. — *Recherches sur les nerfs constricteurs de la pupille*. Arch. Ital. de Biol. XX. S. 26—31.
802. ZIEM. *Das Tapetum lucidum bei Durchleuchtung des Auges*. Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 101—103.

## 1894.

803. E. P. BRAUNSTEIN. *Zur Lehre von der Innervation der Pupillenbewegung*. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 1894. 142 S.
804. J. DOGIEL. *Die Betheiligung der Nerven an den Schwankungen in der Pupillenweite*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 56. S. 500—521.
805. HEDDAEUS. *Die centripetalen Pupillenfäsern und ihre Function*. Festschr. z. Feier d. 50jähr. Jubil. d. Ver. d. Aerzte d. Reg.-Bez. Düsseldorf. S. 312—326.

## 2. Messung der Pupillenweite.

## 1852.

806. S. STAMPFER. *Methode, den Durchmesser der Pupille sowohl bei Tage als bei Nacht am eigenen Auge zu messen*.

## 1855.

807. DUBRUNFAUT. *Note sur la vision*. Compt. Rend. Bd. 41. S. 1087.

## 1864.

808. F. OBERNIER. *Ueber ein einfaches Instrument, Pupillenunterschiede zu ermitteln*. Berlin.

## 1866.

809. HOUDIN. *Iridoskope*. Intern. Obs. IX. S. 315. — Mondes. X. S. 587—589. — Compt. Rend. LXIII. S. 865—868.

## 1869.

810. F. C. DONDEES. *Periodiske veranderingen van de middellijn der pupillen, zonder wijzigingen van refractie of accommodatie*. Versl. Ned. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 187.

## 1875.

811. E. LANDOLT. *Ein Pupillometer*. Centralbl. f. d. med. Wiss. XIII. S. 563—564. — Gaz. méd. de Paris. S. 600.

## 1876.

812. BADAL. *Mesure du diamètre de la pupille*. Gaz. méd. de Paris. No. 23. — Gaz. des hôpitaux. No. 57.



1880.

835. J. E. ADAMS. *Neuer Apparat zur Beleuchtung und Vergrößerung der vorderen Augenpartieen.* Illustr. Vierteljahrsschr. d. ärztl. Polytechnik. 3. Heft.

1892.

836. A. ROCHON-DUVIGNEAU. *Recherches sur l'angle de la chambre antérieure et le canal de Schlemm.* Thèse de Paris. 1892.

## § 4.

## Die Netzhaut und der Sehnerv.

Wegen weiterer Litteratur-Nachweise siehe § 1. s.

1880.

837. F. A. AMMON. *De genesi et usu maculae luteae in retina oculi humani obviae.* Viennae.

1845.

838. F. PACINI. *Nuovi Annali delle sc. nat. di Bologna.*

1850.

839. CORTI. J. Müller's Arch. Jahrg. 1850. S. 274. — Zeitschr. f. wiss. Zool. V.

840. J. HENLE. Zeitschr. f. rat. Med. N. F. II. 304 u. 309.

1851.

841. H. MÜLLER. Siebold u. Kölliker's Zeitschr. f. wiss. Zool. S. 234. — Verh. der Würzburger med. Ges. 1852. S. 216. Ibid. III. 336 u. IV. 96.

1852.

842. A. KÖLLIKER. Verh. der Würzburger med. Ges. III. S. 316.

1853.

843. A. KÖLLIKER u. H. MÜLLER. Compt Rend. de l'Acad. des sc. Sept. 23.

844. — Die Retinatafel in Ecker's Icones physiologicae.

845. R. REMAK. Compt. Rend. de l'Acad. des sc. 1853. Oct. 31. — Allg. med. Centralz. 1854 No. 1. — Prag. Vierteljahrsschr. XLIII. S. 103.

846. M. v. VINTSCHGAU. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. XI. S. 943.

1854.

847. A. KÖLLIKER. *Mikroskopische Anatomie.* Leipzig. 1854. II. S. 648—703.

1855.

848. R. BLESSIG. *De retinae textura.* Diss. Dorpat.

1856.

849. H. MÜLLER. *Anatomische Beiträge zur Ophthalmologie.* Arch. f. Ophthalm. II. (2.) S. 1. III. (1.) S. 1. — IV. (1.) S. 269.

850. — *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Retina bei Menschen und Wirbelthieren.* Siebold u. Kölliker's Zeitschr. für wiss. Zool. VIII. 1. — Compt. Rend. XLIII. Oct. 20.

1857.

851. C. BERGMANN. *Anatomisches und Physiologisches über die Netzhaut des Auges.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) II. 83.

1858.

852. NUNNELEY. *On the structure of the retina.* The quarterly Journ. of microsc. science. 1858. Juli. S. 217.

1859.

853. RITTER. *Ueber den Bau der Stäbchen und äußeren Endigungen der Radialfasern an der Netzhaut des Frosches.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 101.

854. M. SCHULTZE. *De retinae structura penitiori.* Bonn.

855. E. v. WAHL. *De retinae textura in monstro anenocephalo.* Diss. Dorpat.







1888.

940. W. v. BROTHEREW. *Experimentaluntersuchung über die Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma nervorum opticorum*. Klinitscheskaja Gazeta. No. 2, 3. — Neurol. Centralbl. S. 53.
941. BELLONCI. *Contribuzione all' istogenesi ed istologia dello strato molecolare interno della retina*. Mem. d. Acad. de sc. di Bol. (4.) III. 4.
942. M. BORYSINKIEWICZ. *Stäbchenorgan der Retina*. Anz. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. No. 23.
943. F. BURDACH. *Zur Faserkreuzung im Chiasma und in dem Tractus nervorum opticorum*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 135.
944. A. DOGIEL. *Die Retina der Ganoiden*. Arch. f. mikrosk. Anat. XXII. S. 419—472.
945. E. v. FLEISCHL. *Die Verteilung der Sehnervenfasern über die Zapfen der menschlichen Netzhaut*. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. Bd. 87. 3. Abth. (Sitzung v. 10. Mai.)
946. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina*. Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.
947. J. OGNEFF. *Ueber die moleculäre Schicht und die sog. reticuläre Substanz der Retina*. Centralbl. f. d. med. Wissensch. No. 45. S. 801—804.
948. G. SZABÓ. *Untersuchung über das Pigmentepithel der Netzhaut bei Säugethieren*. Szemészet. No. 5 u. 6.
949. — *Ueber die Farbe des Netzhautepithels bei Vertebraten*. Szemészet. Budapest. 1883. S. 113. 1884. S. 9.
950. A. TAFANI. *Andamento e terminazione del nervo ottico nella retina dei crocodilli (Champsia Lucius)*. Boll. d'ocul. Firenze. V. S. 318. 333. (1882/83). — VI. S. 14. (1883/84).
951. G. WÄELCHLI. *Zur Topographie der gefärbten Kugeln der Vogelnethaut*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. (3.) S. 205.

1884.

952. L. BRUNS. *Vergleichend-anatomische Untersuchungen über das Blutgefäßsystem der Netzhaut*. Biol. Centralbl. IV. S. 244.
953. A. DOGIEL. *Zur Frage über den Bau der Retina bei Triton cristatus*. Arch. f. mikrosk. Anat. XXIV. S. 451—467.
954. — *Ueber die Retina des Menschen*. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. S. 143 u. S. 161.
955. E. v. FLEISCHL. *Zur Physiologie der Retina*. Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11. S. 273 u. 308.
956. A. KÖLLIKER. *Ueber markhaltige Nervenfasern der Netzhaut*. Diss.
957. KOGANÉI. *Histiogenese der Netzhaut*. Verb. d. physiol. Ges. zu Berlin. No. 4 u. 5. — Arch. f. mikrosk. Anat. XXIII. S. 335. Arch. f. Physiol. S. 172.
958. W. KRAUSE. *Die Retina*. Intern. Mon.-Schr. für Anat. u. Histol. I. S. 225—254.
959. RAMPOLDI. *Materiali da servire allo studio istologico della retina dei mammiferi*. Ann. di Ottalm. S. 439.
960. G. SACCHI. *Nuovi indagini relative alla tessitura della neuroglia nella retina dei vertebrati*. Sperimentale. Firenze. LIII. S. 620.
961. P. SCHIEFFERDECKER. *Beiträge zur Kenntniss des Stützfasergewebes der Netzhaut*. Göttinger Anz. No. 7.
962. TAFANI. *Parcours et terminaisons du nerf optique dans la rétine des crocodiles (Champsia Lucius)*. Arch. Ital. de Biol. IV. S. 110.

1885.

963. ST. BERNHEIMER. *Zur Kenntniss der Nervenfaserschicht der menschlichen Netzhaut*. Sitzgs.-Ber. d. k. k. Acad. d. Wiss. zu Wien. Bd. 90. S. 1—2.

1886.

964. J. W. BARRET. *The distribution of blood-vessels in the retina of mammals*. Journ. of Physiol. VII. S. 230.
965. G. CUCCATI. *Contributo all' anatomia microscopica della retina del bue e del cavallo*. Rend. d. R. Accad. di Bologna. 1885—86. S. 44.
966. G. DENISSENKO. *Ueber den Bau der Retina bei Trigonum pastinaca*. (Russisch.) Westn. Ophthalm. III. 3. S. 193.
967. W. KRAUSE. *Die Retina II. Die Retina der Fische*. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Histiol. III. 1. S. 8—38. 2. S. 41—73.
968. P. SCHIEFFERDECKER. *Studien zur vergleichenden Histiologie der Retina*. Arch. f. mikrosk. Anat. XXVIII. S. 305—396.





996. CH. L. GREEN. *Ueber die Bedeutung der Becherzellen der Conjunctiva*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 1—21.
997. E. KALLIUS. *Untersuchungen über die Netzhaut der Säugethiere*. Anat. Hefte. Heft 3. S. 527.
998. W. KRAUSE. *Die Retina der Vögel*. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. XI. S. 1—66, 69—123.
999. F. LEYDIG. *Einiges zum Bau der Netzhaut des Auges*. Zool. Jahrb. Abth. f. Anat. VII. 2. S. 309.
1000. W. MANZ. *Ueber markhaltige Nervenfasern in der menschlichen Netzhaut*. Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 220—233.
1001. W. F. NORRIS u. J. WALLACE. *A contribution to the anatomy of the human retina, with a special consideration of the terminal loops of the rods and cones*. University med. mag. March. (Philadelphia.)

## § 5.

## Die Krystalllinse.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auch § 1. 2.  
Litteratur über die Art der Schichtung in der Krystalllinse siehe § 10. 1 und 2.

1845.  
1002. A. HANNOVER. Müller's Archiv. 1845. S. 478\*.
1846.  
1003. HARTING. van de Hoeven en de Vriese Tijdschrift. XII. S. 1.
1847.  
1004. E. BRÜCKE. *Beschreibung des menschlichen Augapfels*. Berlin. S. 27—30\*.
1849.  
1005. W. BOWMAN. *Lectures on the parts concerned in the oper. on the eye*. London.
1851.  
1006. H. MEYER. J. Müller's Archiv. 1851. 202\*.
1852.  
1007. GROS in Compt. Rend. de l'Acad. d. Sciences. 1852. Avril.  
1008. D. BREWSTER. *On the development and extinction of regular doubly refracting structures in the cristalline lenses of animals after death*. Phil. Mag. (4.) III. S. 192—198.
1854.  
1009. A. KÖLLIKER. *Mikroskopische Anatomie*. Leipzig. II. 703—713\*.
1855.  
1010. THOMAS in Prager med. Vierteljahrsschr. 1854. Bd. 1. Ausserord. Beil. S. 1\*.
1859.  
1011. J. CZERMAK. *Ueber das Wesen der von Dr. C. Thomas auf Linsenschliffen entdeckten Curvensysteme*. Zeitschr. f. wiss. Zool. VII. Heft 3.
1868.  
1012. G. VALENTIN. *Neue Untersuchungen über die Polarisationserscheinungen der Krystalllinsen des Menschen und der Thiere*. Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 227—268.
1869.  
1013. D. BREWSTER. *On certain abnormal structures in the crystalline lenses of animals and in the human crystalline*. Rep. of Brit. Ass. 1858. 2. S. 7.
1868.  
1014. F. J. v. BECKER. *Ueber den Bau der Linse bei dem Menschen und den Wirbelthieren*. Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 1—42.
1869.  
1015. M. WOINOW. *Ueber die Entstehung der bipolaren Anordnung der Linsenfasern*. Wien. Ber. LX. 2. S. 151—154.



## § 6.

## Wässrige Feuchtigkeit und Glaskörper.

Wegen weiterer speciell anatomischer Litteratur siehe auf § 1. s.

1842.  
1041. PAPPENHEIM. *Specielle Gewebelehre des Auges*. S. 181.
1843.  
1042. E. BRÜCKE. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers*. J. Müller's Arch. S. 345.
1845.  
1043. A. HANNOVER. J. Müller's Arch. S. 467.  
1044. E. BRÜCKE. *Ueber den inneren Bau des Glaskörpers*. J. Müllers Arch. S. 130.
1846.  
1045. F. C. DONDERS en JANSEN. *Nederlandsch Lancet*. II. S. 454.
1847.  
1046. E. BRÜCKE. *Beschreibung des menschlichen Augapfels*. Berlin.
1848.  
1047. W. BOWMAN. *Dublin Quarterly Journ. of Med. Science*. Aug.; auch in *Lectures on the Parts conc. in the oper. on the eye*. London. S. 94.
1851.  
1048. R. VIRCHOW. *Verh. d. Würzburger phys. med. Ges.* II. — *Arch. f. pathol. Anat.* IV. S. 468 u. V. S. 278.  
1049. A. \*KÖLLIKER. *Mikrosk. Anatomie*. II. S. 713.
1852.  
1050. A. HANNOVER. *Das Auge*. Leipzig.
1854.  
1051. \*A. DONOAN. *De corporis vitrei structura*. Diss. Utrecht. 1854. — *Onderzoekingen ged. in het physiol. Laborat. der Utrechtsche Hoogeschool*. Jaar VI. S. 172.
1865.  
1052. H. HEIBERG. *Zur Anatomie und Physiologie der Zonula Zinnii*. *Arch. f. Ophthalm.* XI. (3.) S. 168.
1869.  
1053. D. SMITH. *Structure of the adult human vitreous humor*. *Lancet*. 8. Mai.  
1054. J. STILLING. *Eine Studie über den Bau des Glaskörpers*. *Arch. f. Ophthalm.* XV. (3.) S. 299.
1874.  
1055. J. C. EWART. *On the minute structure of the retina and vitreous humor*. *Journ of anat. and physiol.* XIV. S. 353—357.
1877.  
1056. K. RUMSCHEWITZ. *Ueber die Entwicklung der Linse und des Glaskörpers*. *Schr. d. Naturf. zu Kiew*. V. 2.
1878.  
1057. ALBINI. *Die Functionen des Corpus vitreum*. *Ausz. a. Rendic. Real. Acc. sc. fis. e. mat. di Napoli*. October.
1882.  
1058. E. BERGER. *Beiträge zur Anatomie der Zonula Zinnii*. *Arch. f. Ophthalm.* XXVIII. (2.) S. 111—124.  
1059. P. HAENSELL. *Ueber den Bau des Glaskörpers*. *Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg*. Beil.-Heft zu d. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XX. S. 103—110.  
1060. H. VIRCHOW. *Ueber die Glaskörper- und Netzhautgefäße des Aales*. *Morphol. Jahrb.* VII. S. 573—590.
1883.  
1061. DESSAUER. *Zur Zonulafrage*. *Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde.* XXI. S. 89—99.  
1062. HEITZMANN. *Ueber den feineren Bau der Linse und des Glaskörpers*. *Ber. d. ophthalm. Ges.* S. 33. Beil.-H. z d. klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXI. S. 33—38.
- V. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 2. Aufl.



1081. MOTAIS. *Contribution à l'étude de l'anatomie comparée des muscles de l'œil et de la capsule Ténon.* Paris.
1082. STÖTTING. *Vorschlag zu einigen Veränderungen an dem von Herrn Prof. Zehender angegebenen Exophthalmometer.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 355.  
1884.
1083. MOTAIS. *Recherches sur les muscles de l'œil chez l'homme et dans la série animale.* Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 172.
1084. — *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. IV. S. 512.  
1885.
1085. MOTAIS. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. V. S. 28, 143, 419 u. 524.  
1886.
1086. MOTAIS. *Recherches sur l'anatomie humaine et l'anatomie comparée de l'appareil moteur de l'œil.* Arch. d'Ophthalm. VI. S. 157.  
1887.
1087. MOTAIS. *Anatomie de l'appareil moteur de l'œil de l'homme et des vertébrés.* Paris. Delahaye u. Lecosnier. 303 S.  
1889.
1088. R. DREWS. *Ueber das Mongolenaugen.* Arch. f. Anthrop. XVIII. 3. S. 223—233.
1089. L. WEISS. *Ueber directe Messung des Neigungswinkels des Orbitaeinganges.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 1.
1090. — *Zur Anatomie der Orbita.* Ber. üb. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 78.  
1891.
1091. E. CURTIUS. *Das menschliche Auge in der griechischen Plastik.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.
1092. W. WALDEYER. *Bemerkungen zu der vorstehenden Mittheilung des Herrn Curtius.* Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akademie v. 9. Juli 1891.  
1892.
1093. R. GREEFF. *Studien über die Plastik des menschlichen Auges am Lebenden und an den Bildwerken der Antike.* Arch. f. Anat. Jahrg. 1892. S. 113—136.
1094. SCHMIDT-RIMPLER. *Das Auge und seine Darstellung in Sculptur und Malerei.* Nord und Süd. LXII. No. 186.  
1894.
1095. A. ANTONELLI. *L'ophthalmomètre Javal employé pour l'exophthalmométrie et l'ophthalmostatométrie.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 529—542.
1096. L. WEISS. *Ueber das Verhalten von M. rectus externus und rectus internus bei wachsender Divergens der Orbita.* Arch. f. Augenheilkde. Bd. XXIX. S. 298.
1097. WICHERKIEWICZ. *Ein neuer Orbitalmesser.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 365—367.

## § 9.

## Gesetze der Brechung in Systemen kugelliger Flächen.

## 1. Aeltere Litteratur.

- 1788.
1098. CORNÉ in Smith a complete system of optics. II. S. 76. Cambridge.  
1757.
1099. L. EULER. *Règles générales pour la construction des télescopes et microscopes de quelque nombre de verres qu'ils soient composés.* Histoire de l'Acad. roy. de Berlin pour 1757. S. 283.



1876.

1122. J. HIRSCHBERG. *Dioptrik der Kugelflächen und des Auges*. Reichert's u. du Bois' Arch. S. 587.

1877.

1123. L. MATTHIESSEN. *Grundriss der Dioptrik geschichteter Linsensysteme*. Leipzig. 276 S.

1878.

1124. J. HIRSCHBERG. *Elementare Darstellung der Gauss'schen Dioptrik kugeligter Flächen*. Beitr. z. prakt. Augenheilkde. 3. Heft. S. 30—35.

1125. L. MATTHIESSEN. *Ueber eine Methode der Berechnung der 6 Cardinalpunkte eines centrirten Systems sphärischer Linsen*. Schlömilch's Ztschr. f. Math. u. Phys. Bd. 22.

1880.

1126. E. ABBE. *Ueber die Grenzen der geometrischen Optik. Mit Vorbemerkungen über die Abhandlung: „Zur Theorie der Bilderzeugung“ von Dr. R. Altmann*. Sitzgs.-Ber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturw. 23. Juli. 48 S.

1127. R. ALTMANN. *Ueber die Vorbemerkungen des Herrn Prof. Abbe zu seinen „Grenzen der geometrischen Optik“*. Arch. f. Anat. IV. S. 354—363.

1128. — *Zur Theorie der Bilderzeugung*. Arch. f. Anat. (u. Physiol.) IV. 2. S. 111—184.

1129. HÄLLSTÉN. *Die dioptrische Fähigkeit in centrirt Systemen mit besonderer Rücksicht auf die dioptrische Fähigkeit und die Accommodationsbreite des Auges*. Arch. f. Anat. u. Physiol. Phys. Abth. Heft 1 u. 2.

1881.

1130. K. MOSER. *Die Grundformeln der Dioptrik*. Sitzgs.-Ber. d. k. böhm. Ges. d. Wiss. 1. April 1881. Prag.

1885.

1131. W. v. ZEHENDER. *Demonstration der Wirkung schief stehender sphärischer Linsen*. Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 232.

1132. — *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidenz. Ueber aplanatische Brillengläser*. Ber. über d. 17. Vers. d. ophthalm. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

1886.

1133. S. EXNER. *Ueber Cylinder, welche optische Bilder entwerfen*. Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217. Nachtrag. XXXIX. S. 244.

1134. L. MATTHIESSEN. *Ueber den Strahlendurchgang durch coaxial-continuirlich geschichtete Kreiscylinder für paraxiale Objecte (Facettenauge der Käfer)*. Exner's Rep. d. Phys. XII.

1887.

1135. H. BROCKMANN. *Beiträge zur Dioptrik centrirtter sphärischer Flächen*. Diss. Rostock.

1136. S. M. BURNETT. *On some of the optical properties of spherical and cylindrical lenses placed obliquely to the incident pencils of light*. Americ. Journ. of Ophthalm. Vol. IV. S. 15 bis 20

1137. C. NEUMANN. *Die Brillen, das dioptrische Fernrohr und das Mikroskop*. Wien. Hartleben. 1887. 95 Abb.

1888.

1138. G. FÜRCHTBAUER. *Einige Eigenschaften der optischen Linse in Bezug auf Centralstrahlen*. Nürnberg. Ballhorn.

1139. A. HÄRCHER. *Optometer und Apparat zum Messen der Brennweiten und zum Centriren optischer Linsen*. Breslau. Aerztl. Zeitschr. X. S. 139.

1140. L. MATTHIESSEN. *Ueber ein merkwürdiges optisches Problem von Maxwell*. Exner's Rep. XXIV.

1891.

1141. S. FINSTERWALDER. *Die von optischen Systemen größerer Oeffnung und größeren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht*. Abh. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München. 71 S.

1892.

1142. EJGIL SCHMIDT. *En Fremstilling af Theorien for centrerede optiske Systemer*. (Eine Darstellung der Theorie der centrirtten optischen Systeme.) Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 1.

1893.

1143. S. CZAPSKI. *Theorie der optischen Instrumente nach Abbe*. (S.-A. a. d. Handb. d. Physik v. A. Winkelmann.) Breslau. E. Trewendt. 292 S.





1884.

1164. C. M. N. BARTELS. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns*. Berlin. 1884. S. 61.

1886.

1165. A. W. VOLKMANN. *Untersuchung über den Stand des Netzhautbildchens*. Pogg. Ann. XXXVII. 342\*.

1166. — *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig. Kap. IV.

1887.

1167. JOH. MILE. *Ueber die Richtungslinien des Sehens*. Pogg. Ann. XLII. S. 37 u. 235\*

1888.

1168. VOLKMANN. *Theorie zur Berechnung der Zerstreuungskreise des Lichts bei fehlerhafter Accommodation des Auges*. Pogg. Ann. XLV. S. 207\*. (Erwiderung gegen den Vorigen.)

1889.

1169. GERLING. *Ueber die Beobachtung von Netzhautbildern*. Pogg. Ann. XLVI. S. 243\*.

1170. KNOCHENHAUER. *Ueber die Richtungsstrahlen oder Richtungslinien beim Sehen*. Pogg. Ann. XLVI. S. 248\*.

1841.

1171. A. BUROW. *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges*. Berlin. S. 16—93\*.

1842.

1172. L. L. VALLÉE. Compt. Rend. XIV. S. 481.

1173. W. STAMM. *Ueber Volkmann's Richtungslinien des Sehens*. Pogg. Ann. LVII. S. 346\*.

1848.

1174. A. W. VOLKMANN. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 9 (gegen Burow).

1844.

1175. \*L. MOSER. *Ueber das Auge*. Dove's Repert. d. Physik. S. 337—349\*.

1845.

1176. J. B. LISTING. *Beitrag zur physiologischen Optik*. Göttingen (abgedr. aus d. Göttinger Studien). S. 7—21\*.

1177. L. L. VALLÉE. Compt. Rend. XX. S. 1338. — Institut. No. 393. S. 166.

1846.

1178. \*A. W. VOLKMANN. Art. *Sehen* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. 1. S. 281—290\*.

1847.

1179. F. C. DONDEERS. *Holländische Beiträge zu den anat. u. physiol. Wissensch.* I. S. 107—112\*.

1849.

1180. J. D. FORBES. *Note respecting the dimensions and refracting power of the eye*. Proc. Edinb. Roy. Soc. Decbr. 3. S. 251 — Silliman Journ. (2.) XIII. S. 413.

1851.

1181. \*J. B. LISTING. Art. *Dioptrik des Auges* in R. Wagner's Handwörterb. d. Physiol. IV. S. 451—504\*.

1852—1861.

1182. L. L. VALLÉE. *Théorie de l'œil*. Compt. Rend. XXXIV. S. 321—323, 718—720, 720—722, 789—792, 872—876; — XXXV. S. 679—681; — LI. S. 678—680; — LII. S. 702—703, 1020—1021. Mém. des savants étrangers. XII. S. 204—264; XV. S. 98—118, 119 bis 140.

1855.

1183. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Accommodation des Auges*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. 2. S. 1—74\*.

1856.

1184. W. ZEHENDER. *Anleitung zum Studium der Dioptrik des menschlichen Auges*. Erlangen.

1858.

1185. N. LUBIMOFF. *Recherches sur la grandeur apparente des objets*. Compt. Rend. XLVII. S. 24—27. — Ann. de chim. (3.) LIV. S. 13—27.

1859.

1186. J. H. KNAPP. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges*. Habilitationsschrift. Heidelberg. — Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52.



## 1874.

1214. O. BECKER. *Demonstration und Erklärung einiger Instrumente.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XII. S. 408—422.
1215. L. HERMANN. *Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse.* Gratulationsschrift von C. Ludwig. Zürich. — Pogg. Ann Bd. 153. S. 470.
1216. J. HIRSCHBERG. *Ueber Prof. Laqueur's Ophthalmomikrometer und über eine objective Methode zur Messung des totalen Brechungsvermögens der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 49.
1217. — *Ueber eine objective Methode zur Messung der Hauptbrennweiten der Krystalllinse und der Axenlänge des lebenden Auges.* Wien. med. Presse. XV. No. 45.
1218. LANDOLT en NUËL. *Proeven ter bepaling van het knooppunt voor excentrisch in het oog vallende Lichtstrahlen.* Onderzoekingen in het Physiol. Laborator. te Utrecht. Derde Reeks. III. S. 1.
1219. L. MAUTHNER. *Das schematische Auge.* Wien. med. Wochenschr. S. 173.
1220. M. REICH. *Resultate einiger ophtalmometrischer und mikrooptometrischer Messungen.* Graefe's Arch. XX. (1.) S. 207.
1221. W. STAMMESHAUS. *Ueber die Lage der Netzhautschale zur Brennfläche des dioptrischen Systems des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XX. (2.) S. 147—170.

## 1876.

1222. J. BERNSTEIN. *Ueber die Ermittlung des Knotenpunktes im Auge des lebenden Menschen.* Berl. Akad. Ber. 7. Aug. 1876. S. 509.
1223. BOETTCHER. *Ueber Dioptrik des Auges.* Diss. Berlin.
1224. J. HIRSCHBERG. *Zur Dioptrik des Auges. II. Die Länge des emmetropischen Auges.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XIV. S. 40.
1225. — *Optische Notizen.* Arch. f. Anat. u. Physiol u. wiss. Med. Jahrg. 1876. S. 622 bis 629.
1226. L. MATTHIESSEN. *Ueber den Aplanatismus der Hornhaut.* Graefe's Arch. Bd. 22.
1227. — *Formeln zur Berechnung der Cardinalpunkte des Auges.* Physiol. Optik von Aubert. S. 404—406. Schlömilch's Zeitschr. f. Math. u. Phys. XXI.
1228. — *Ueber die Berechnung des absoluten Brechungsvermögens des Kerncentrums der Krystalllinse.* Graefe's Arch. Bd. 22.
1229. L. MAUTHNER. *Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. II. Teil.* Wien. Braumüller.
1230. J. F. SCHROETER. *Zur Dioptrik des menschlichen Auges.* Diss. Berlin.
1231. W. STAMMESHAUS. *Darstellung der Dioptrik des normalen menschlichen Auges.* Oberhausen. Spaarmann. 240 S.
1232. G. J. WITKOWSKI. *Appareil de la vision.* Paris.

## 1877.

1233. BADAL. *Distance du centre optique de l'oeil au sommet de la cornée.* Soc. de biol. 21. April. — Gaz. d. hôp. S. 374. — Gaz. Méd. de Paris. S. 225.
1234. L. HAPPE. *Das dioptrische System des Auges in elementarer Darstellung.* Berlin.
1235. J. v. HASNER. *Zur Dioptrik des Auges.* Centralbl. f. pr. Augenheilkde. S. 37—39.
1236. LEVI. *Ueber den Einfluss der Entfernung der Convexlinsen vom Auge.* Ann. di Ottalm. 1877.
1237. L. MATTHIESSEN. *Grundriss der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.* Leipzig. 276 S.
1238. A. v. REUSS. *Untersuchungen über die optischen Constanten ametropischer Augen.* Graefe's Arch. Bd. XXIII. (4.) S. 183—268.
1239. W. RÖDER. *Ueber Kapseldurchschneidungen und dadurch bedingte Krümmungsveränderungen der menschlichen Hornhaut.* Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 29—56.

## 1878.

1240. BADAL. *Un oeil artificiel pour essais optométriques et ophthalmoscopiques.* Gaz. Méd. de Paris. No. 10. S. 123.
1241. L. HAPPE. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182—184.
1242. J. v. HASNER. *Das reducirte Auge.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 31.
1243. — *Erwiderung auf den Artikel: Das reducirte Auge, von Herrn Happe.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 182—184.
1244. — *Ueber das reducirte Auge.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. VII. S. 1—9.
1245. — *Die Größenwerthe des Auges.* Prag. med. Wochenschr. 1878. No. 9.







1333. — *Théorie des images de Purkinje et description d'une nouvelle image.* Arch. de Physiol. 5. sér. T. III. S. 357—372.  
 1334. — *Sur une image à la fois catoptrique et dioptrique de l'œil humain et une nouvelle méthode pour déterminer la direction de l'axe optique de l'œil.* Bull. de la Soc. Française de l'ophthal. S. 203.

1892.

1335. SW. M. BURNETT. *The general form of the human cornea and its relation to the refraction of the eye and visual acuteness.* Americ. Journ. of Ophthalm. August. Transact. of the Americ. ophthalm. soc. S. 316.  
 1336. KNOEPFLER. *Contribution clinique à l'étude de la position du cristallin dans l'œil humain à l'état de repos et d'activité de l'accommodation.* Rev. méd. de l'Est. 15. Juni.  
 1337. G. MARTIN. *Valeur réfractaire du cristallin chez les myopes.* Rev. gén. d'ophthalm. XI. S. 22—23.  
 1338. L. MATTHIESSEN. *Die zweiten Purkinje'schen Bilder im schematischen und im wirklichen Auge.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 280—296.  
 1339. F. OSTWALT. *Auch noch einmal die Gläsercorrection bei Aphakie.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXX. S. 178—181.  
 1340. M. TSCHERNING. *Beiträge zur Dioptrik des Auges.* Zeitschr. f. Psychol. III. S. 429—492.  
 1341. — *Les images catoptriques de l'œil humain.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 23. Juli. S. 688.

1893.

1342. E. BAQUIS. *Sopra il fenomeno endoptico di Heuse. Appunti critici e nuova interpretazione.* Ann. di Ottalm. Anno XXII. S. 471.  
 1343. A. KLINGBERG. *Beiträge zur Dioptrik der Augen einiger Haustiere.* 3. Theil. Progr. Güstrow. 18 S.  
 1344. L. MATTHIESSEN. *Ueber den physikalisch-optischen Bau der Augen vom Knöhlwal (Megaptera boops. Fabr.) und Finnwal (Balaenoptera musculus Comp.)* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 77—102.  
 1345. — *Beiträge zur Dioptrik der Krystalllinse. (Vierte Folge.)* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. VII. S. 102—189.  
 1346. H. PARENT. *Exposé élémentaire de la dioptrique oculaire.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. S. 145—167.  
 1347. TSCHERNING. *Les sept images de l'oeil humain.* Journ. de phys. (3.) Bd. II. S. 118—126.  
 1348. E. VITALI. *Occhio diottrico.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 219.

1894.

1349. H. BORDIER. *Modifications de la grandeur des images rétiniennees par les verres correcteurs dans les différentes amétropies.* Arch. d'Ophthalm. XIV. S. 279—297.  
 1350. G. HARTRIDGE. *The refraction of the eye.* London. Churchill.  
 1351. F. LAGRANGE. *De l'égalité des images rétiniennees dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie; nouvelle démonstration élémentaire.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 81.  
 1352. — *De l'égalité des images rétiniennees dans l'amétropie axile corrigée et dans l'emmétropie. (Note complémentaire.)* Ann. d'Oculist. Bd. CXI. S. 279.  
 1353. F. SMITH. *The refractive character of the eyes of horses.* London. Roy. Soc. Bd. 55. No. 334. S. 414.  
 1354. A. STEIGER. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraction.* Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 98—111.  
 1355. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Hornhautrefraktion.* 1. Theil. Wiesbaden. J. F. Bergmann. 135 S.  
 1356. M. TSCHERNING. *Un reflet intra-oculaire.* Arch. de Physiol. (5.) VI. S. 158—163.

## 2. Messung der Brechungsverhältnisse.

Die meisten dieser Bestimmungen sind in den im unmittelbar vorhergehenden Abschnitt dieses Paragraphen angeführten Abhandlungen enthalten. Ferner finden sich solche in:

1710.

1357. HAWKSBEF. *Apparatus for making experiments on the refraction of fluids.* Philos Transact. 1710. S. 204.

1785.

1358. A. MONRO. *On the structure and physiology of fishes.* S. 60.













## § 11.

## Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.

## 1. Aeltere Litteratur.

Hier ist auch die Litteratur im § 18. s. zu beachten.

1500. FR. MAUROLYCUS. *De lumine et umbra.* Lib. III. 1575.
1501. J. B. PORTA. *De refractione.* Lib. VIII. 1588.
1502. J. KEPLER. *Paralipomena ad Vitellionem.* S. 200. 1604.
1503. SCHEINER. *Oculus.* S. 32—49. 1619.
1504. DE LA HIRE. *Journ. des Sçavans.* Ann. 1685. 1685.
1505. DE LA HIRE. *Sur différents accidents de la vue.* Anc. Mém. Par. X. 1698.
1506. DE LA HIRE. *Explications de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision.* Mém. de l'Acad. de Paris. S. 95. (Sehen im Wasser.) 1709.
1507. DE LA MOTTE. *Versuche und Abhandlungen der Gesellschaft in Danzig.* Bd. II. S. 290. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.) 1788.
1508. JURIN. *Essay on distinct and indistinct vision* in SMITH System of Optics. Cambridge. 1759.
1509. PORTERFIELD. *On the eye.* S. 389—423\*. (Theorie des Scheiner'schen Versuchs.) 1792.
1510. G. ADAMS. *An essay on vision.* London. 2d. ed., übersetzt von F. Kries. Gotha. 1794. (Ausführlich über Brillen.) 1800.
1511. J. BISCHOFF. *Praktische Abhandlung der Dioptrik.* Stuttgart. 2. Aufl. (Ueber Brillen.) 1801.
1512. TH. YOUNG. *On the mechanism of the eye.* Philos. Transact. P. I. S. 34. (Optometer.) 1810.
1513. GILBERT in seinen Annalen d. Physik. XXXIV. S. 34 u. XXXVI. S. 375. (Sehen im Wasser.)
1514. WOLLASTON. *Improved periscopic spectacles.* Phil. Mag. XVII. — Nicholson's Journ. VII. S. 143, 241.
1515. JONES. *On Wollaston's spectacles.* Nicholson's Journ. VII. S. 192 u. VIII. S. 38. 1821.
1516. G. TAUBER. *Anweisung für auswärtige Personen, wie dieselben aus dem optisch-oculistischen Institute zu Leipzig Augengläser bekommen können.* Leipzig. 3. Aufl. 1824.
1517. MUNCKE. *Ueber Sehen unter Wasser.* Pogg. Ann. II. S. 257. 1825.
1518. PURKINJE. *Zur Physiologie der Sinne.* II. S. 128\*. 1828.
1519. MUNCKE. Art. *Gesicht.* Gehler's phys. Wörterbuch, neu bearb. Leipzig. S. 1383 bis 1386\* und S. 1403—1410. 1830.
1520. HOLKE. *Disquisitio de acie oculi dextri et sinistri in mille ducentis hominibus.* Lipsiae.













1894.

1645. CL. DU BOIS-REYMOND. *Über die latente Hypermetropie.* Zeitschr. f. Psychol. VIII. S. 34—43.  
 1646. CHAUVEL. *Études ophtalmoscopiques. Hypermétropie.* Rec. d'Ophthalm. S. 573.  
 1647. A. GRAEFE. *Accommodation und Convergenz.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XL. (5.) S. 247—252.  
 1648. L. KÖNIGSTEIN. *Die Anomalien der Refraction und Accommodation.* 2. Aufl. Wien. W. Braumüller. 102 S.  
 1649 TH. YOUNG. *Oeuvres ophtalmologiques.* Französisch von Tscherning. Kopenhagen, Höst u. Sön. 248 S.

## 4. Accommodationsbreite.

1854.

1650. J. CZERMAK. *Von den Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 322.  
 1651. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Wien. Ber. Bd. XII. S. 339.

1855.

1652. STELLWAG v. CARION. *Die Accommodationsfehler des Auges.* Wien. Sitzgs.-Ber. XVI. S. 187.  
 1653. J. CZERMAK. *Accommodationslinien.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 425, 457.  
 1654. — *Ueber den Zusammenhang zwischen der Convergenz der Augenaxen und der Accommodation.* Wien. Ber. Bd. XV. S. 438.

1856.

1655. A. v. GRAEFE. *Ueber Myopia in distans nebst Betrachtungen über das Sehen jenseits der Grenzen unserer Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. II. 1. S. 158—186.

1857.

1656. J. J. OPPEL. *Ueber das Sehen durch kleine Oeffnungen und das Gerham'sche Diaskop.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1856—1857 S. 37—42.

1858.

1657. F. C. DONDEERS. *Winke, betr. den Gebrauch und die Wahl der Brillen.* Arch. f. Ophthalm. IV. 1. S. 286—300.

1658. TH. H. MAC-GILLAVRY. *De oculi accommodationis quantitate disquisitiones.* Utrecht.

1859.

1659. M. MAC-GILLAVRY. *Onderzoekingen over de hoegroothheid der accommodatie.* Diss. Utrecht. 1858. — Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. (3.) VI. S. 612—613.

1860.

1660. F. C. DONDEERS. *Beiträge zur Kenntniß der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. VI. 1. S. 62—105. VI. 2. S. 210—283. VII. 1. S. 155—204. — Verslagen en Mededeelingen der K. Acad. Amsterdam. 1861. S. 159 bis 201. — Jaarlijksch Verslag betrekkelijk het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. I. S. 63—205. II. S. 25—68. IV. S. 1—118.

1661. C. LANDSBERG. *Beschreibung eines neuen Optometers und Ophthalmodiastometers.* Pogg. Ann. CX. S. 435—452. — Polytechn. Centralbl. S. 405—406.

1662. A. BUROW. *Ueber den Einfluß peripherischer Netzhautparthien auf die Regelung der accommodativen Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. VI. (1.) S. 106—110.

1861.

1663. CH. ARBY. *Die Accommodationsgeschwindigkeit des menschlichen Auges.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. (3.) XI. S. 300—304.

1664. GIRAUD-TEULON. *Des mouvements de décentration latérale de l'appareil cristallin.* Compt. Rend. LII. S. 383—385. — Institut. S. 82. — Cosmos. XVIII. S. 284—286.

1665. H. DOR. *Des différences individuelles de la réfraction de l'œil.* Journ. de la physiol. XI. XII. — Arch. d. sc. phys. (2.) X. S. 82—85.

1666. H. DE BRIEDER. *De stoornissen der accommodatie van het oog.* Diss. Utrecht. — Jaarlijksch Verslag betr. het Nederl. Gasthuis. II. S. 69—142.

1667. v. JAEGER jun. *Ueber die Einstellungen des dioptrischen Apparates im menschlichen Auge.* Wien. 1861.

1668. STELLWAG v. CARION. *Zur Litteratur der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Zeitschr. d. K. K. Ges. d. Aerzte. 1861.

















3. C. HORSTMANN. *Die Refractionsverhältnisse des menschlichen Auges bis zum 6. Lebensjahre.* Ber. d. 16. Vers. d. ophth. Ges. zu Heidelberg. S. 79.  
1885.

3. B. CARTER. *Eyesight in schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 535, 569.
3. TH. GERMANN. *Beiträge zur Kenntniss der Refractionsverhältnisse der Kinder im Säuglingsalter, sowie im vorschulpflichtigen Alter.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. XXXI. (2.) S. 122—146.

1. RANDALL, *Augenuntersuchungen in den Schulen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 500.

2. — *A study of the eyes of medical students.* Transact. Pennsylvania State med. soc. 18 S.

3. CH. ROBERTS. *Statistics of eyesight in elementary schools.* Med. Times and Gaz. I. S. 593.

1. SCHIÖTZ. *Ophthalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen.* Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 37.  
1886.

5. H. COHN. *Ueber neue Untersuchungen der Augen der Uhrmacher.* Berl. klin. Wochenschr. S. 391.

3. L. SIESMANN. *Resultate der Sehprüfung der Schüler der Schule für Militärbader zu Irkutsk.* (Russisch.) Westnik ophth. II. 6. S. 464.

7. PH. STEFFAN. *Die Myopie am Frankfurter Gymnasium.* v. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXII. (2.) S. 301.

3. J. WIDMARK. *Refraktionsundersökningar, utförda vid några skolor i Stockholm (Untersuchung der Refraction in einigen Schulen Stockholms).* Nord. med. arkiv. Heft 4.  
1887.

3. JACKMANN. *Eyesight of school children.* Ophth. Rev. S. 23.

3. H. W. WILLIAM. *The importance of re-examinations as to the accuracy of vision of railroad employes and mariners.* Boston med. and surg. Journ. Bd. 117. S. 373.  
1888.

1. B. A. RANDALL u. G. E. DE SCHWEINITZ. *An analysis of the statistics of the refraction of the human eye.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 511.

1889.

2. BARTHÉLEMY. *L'examen de la vision devant les conseils — marine et armée.* Paris. Baillière.

3. W. FEILCHENFELD. *Statistischer Beitrag zur Kenntniss der Refractionsänderungen bei jugendlichen und erwachsenen Personen.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 113—136.

1. *Colour-blindness and defective far sight among the seamen of the mercantile marine.* Nature. S. 438.

1890.

5. J. ARMINSKI. *Das Verhältniss zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40 u. 41. Verh. d. X. internat. med. Kongr. Bd. IV. S. 86.

3. T. AXENFELD. *Untersuchungen mehrerer Marburger Schulen auf Kurzsichtigkeit.* Inaug.-Diss. Marburg. 30 S.

1. H. COHN. *Die Augen der Zöglinge der Breslauer Taubstummen-Anstalt.* Jahresbericht d. Taubstummen-Anstalt für 1890.

3. G. MACKAY. *Colour-Blindness and defective sight in relation to public duty.* Brit. Med. Journ. No. 1568. S. 123.

3. J. RHEINSTEIN. *Die Veränderungen der Schüleraugen in Bezug auf Refraction und Augenspiegelbefund, festgestellt durch in Zwischenräumen von mehreren Jahren wiederholte Untersuchung derselben Schüler.* Inaug.-Diss. Würzburg. 24 S.  
1894.

3. M. GIRLS. *Die Augen der indianischen Schulkinder.* Zeitschr. f. Schulgesundheitspflege. 10. S. 569.

1. L. KOTELMANN. *Die Sehschärfe der Schüler des Gymnasium Christianeum in Altona.* Zeitschr. f. Schulgesundheitspflege. 2. S. 74.

2. H. S. MILES. *Refractionsstörungen bei 4000 Augen.* The Refractionist. Octbr.



1898. E. LANDOLT. *Die Einführung des Metersystems in die Ophthalmologie.* Stuttgart. Enke. 30 S. — Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XIV. S. 223—250. — Ann. d'Ocul. Bd. 75. S. 207—234.

1877.

1899. BADAL. *Optomètre métrique international.* Bull. mens. de la clin. du Dr. B. Paris. Delahaye. S. 17—23.

1900. LANDOLT. *Ueber das Verhältniß der alten zur neuen Einheit der Brillengläser.* Ann. d'Ocul. Bd. 78. S. 44—47. — Klin. Mon.-Bl. XV. S. 333—336.

1878.

1901. C. M. GABRIEL. *Sur le numérotage des verres de lunettes.* Journ. de phys. VII. S. 127—130.

1902. v. HASNER. *Ueber die Dioptrie.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 75—77.

1903. C. HORSTMANN. *Zur Numerirung der Brillengläser.* Cassel.

1880.

1904. A. NAGEL. *Ueber die Bezeichnung dioptrischer Werthe aus dem Betrage symmetrischer Convergenzbewegungen nach metrischen Maaßeinheiten.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. Heft 1.

1881.

1905. A. NAGEL. *Ueber die neuen nach metrischem Maaße bezeichneten Brillengläser.* Zeitschr. f. Instr.-Kde. I. S. 161—164.

1882.

1906. JUDA. *De benaming der brillenglazen in dioptrien.* Nederl. Tijdschr. v. Geneesk. Amsterdam. XVIII. S. 687.

1907. E. RAEHLMANN. *Ueber die optische Wirkung der hyperbolischen Linsen, sowie über die Anwendung derselben als Brillen.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 111.

1883.

1908. BADAL. *Verres périscopiques et cônes de Steinheil.* Ann. d'Ocul. Bd. 89. S. 19.

1909. A. IMBERT. *De l'interprétation et de l'emploi du pouvoir dioptrique et de la dioptrie métrique en ophthalmologie.* Lyon, Thèse de doctor. Paris, Baillière et fils.

1910. A. ANGELUCCI. *Sulla refrazione e correzione delle cornee coniche ed ectatiche.* Ann. di Ottalm. XIII. S. 35.

1885.

1911. R. M. FERGUSON. *The dioptric system and its relation to the old system of numbering lenses.* Louisville. Med. News. XIX. S. 353.

1886.

1912. BURNETT. *The metre-lens, its English name and equivalent.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 183.

1913. — *The dioptre again.* New-York. med. Journ. Bd. 44. S. 380.

1914. KNAPP. *Dioptre or dioptric.* New-York. Med. Journ. XLIV. S. 377.

1888.

1915. D. DOIJER. *De brillinkwestie.* Feestbundel. Donder's Jubiléum. Amsterdam. S. 60.

1916. A. E. FICK. *Eine Contactbrille.* Arch. f. Augenheilkde. XVIII. S. 279.

1917. J. WALLACE. *The correction of conical cornea.* Univ. med. Mag. Philadelphia. 1888/89. S. 231.

1918. W. v. ZEHENDER. *Zwei Bemerkungen zur Brillenfrage.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 393.

1890.

1919. E. BERGER. *Appareil destiné à remplacer la boîte de verres d'essai.* New York Med. Journ. Vol. LII. No. 10. S. 30.

1920. E. LANDOLT. *Le numérotage rationel des verres prismatiques employés en ophthalmologie.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 401.

1892.

1921. A. E. FICK. *Einige Bemerkungen über die Contactbrille.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXX. S. 306—310.

1893.

1922. PFLÜGER. *Tori- und Doppelfocus-Gläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 1—18.

1923. ROMANO. *Die torischen Gläser.* Arch. di Ottalm. I. 1/2.

1924. STEIGER. *Zur Benennung torisch geschliffener Brillengläser.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. Bd. XXXI. S. 103.



1948. JAVAL. *Les livres scolaires et la myopie*. Bullet. de l'Acad. de Méd. (2.) IX. 12. S. 221. Gaz. méd. de Paris. No. 13. S. 161.
1949. S. SMITH. *Short-Sight in relation to education*. Birmingham and Leicester. 1880. 1881.
1950. H. BERTIN-SANS. *Le problème de la myopie scolaire*. Ann. d'hygiène publ. IV. 1. 2.
1951. G. B. BONO. *Del rapporto tra la forma del cranio e la refrazione oculare*. Giorn. d. Soc. ital. d'ig. Milano. III. S. 641.
1952. E. LANDOLT. *Relations between the conformation of the cranium and that of the eye*. Brit. Med. Journ. 2. April.
1953. E. MEYER. *De la myopie dans les écoles des différentes nations*. Rev. méd. franç. et étrang. No. 9.
1954. SORMANNI. *Miopia*. Geogr. nosolog. dell' Italia. Roma 1881. Cap. 21. S. 266. 1882.
1955. J. ALBRECHT. *Statistische Beiträge zur Lehre von der Myopie*. Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 342.
1956. AMADEI. *Sulla craniologia delle Anomalie della Refrazione dell' occhio*. Ann. di Ottalm. XI. S. 1.
1957. E. BERTIN-SANS. *Le problème de la myopie scolaire*. Ann. d'hyg. Paris. VII. S. 46. u. 186.
1958. W. E. MITTENDORF. *Myopia and the necessity of correcting it by glasses*. Philadelphia. M. Times. XIII. S. 60.
1959. SCHLEICH. *Klinisch-casuistische Beiträge zur Lehre von der Myopie*. Mitth. a. d. Klin. in Tübingen. S. 1.
1960. TSCHERNING. *Studier oven myopiens aetiologi*. Kopenhagen. Myhres. 1882.
1961. L. WEISS. *Beiträge zur Anatomie des myopischen Auges*. Nagel's Tübing. Mitth. Heft 3. S. 63—117. 1888.
1962. O. BECKER. *Ueber zunehmende und überhandnehmende Kurzsichtigkeit*. Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 77.
1963. G. B. BONO. *Indice cefalico e refrazione oculare*. Giorn. d. R. Accad. d. Med. di Torino. No. 1.
1964. J. CHASANOW. *Ueber die Progression der Myopie*. Diss. Königsberg.
1965. DANIEL. *Ueber den Einfluss des Lebensalters auf das Verhältniss der manifesten zur totalen Hypermetropie*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Juli-Aug.
1966. M. DOBROWOLSKY. *Die Sehschärfe und Kurzsichtigkeit bei den Schülern des Ural-schen Gymnasiums*. Wratsch. No. 6.
1967. FÖRSTER. *Ueber die Entstehungsweise der Myopie*. Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 119.
1968. FULDA. *Zur Frage der Schulkurzsichtigkeit*. Blätt. f. Handel, Gewerbe u. sociales Leben. (Beibl. z. Magdeburg. Ztg.) No. 10 u. 11.
1969. D. HUNT. *On the causation of myopia*. New-York. med. Journ. No. 10.
1970. W. J. MITTENDORF. *Der Einfluss der Civilisation auf das menschliche Auge, besonders auf die Entwicklung der Myopie*. Verh. d. dtsh. Ges. u. wiss. Ver. i. New-York. V. S. 30.
1971. J. MOROSIN. *Determinazione di V et di R. Miopia, ipermetropia, astigmatisme*. Sassari. 1883. 80 S.
1972. PAULSEN. *Die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit*. Berlin. 41 S.
1973. PFLÜGER. *Myopische Anisometropie*. Ber. d. Univ.-Augenkl. in Bern f. 1881. Bern. 1883. S. 51.
1974. M. REICH. *Refractionsveränderungen im Laufe von 6 Jahren an 85 Schülern beobachtet*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. 2. S. 303.
1975. E. RITZMANN. *Hygienische Rathschläge gegen das Ueberhandnehmen der Kurzsichtigkeit bei der Schuljugend*. Beil. z. Osterprogr. d. Schulen d. Stadt Schaffhausen. 30 S.
1976. PH. STEFFAN. *Zur Schulkurzsichtigkeitsfrage*. Dtsch. Vierteljahrsschr. f. öffentl. Schulgesundheitspflege.
1977. TIPTON. *Some facts concerning the eyesight in school children*. Transact. med. assoc. Alabama, Montgomery. S. 447.
1978. M. TSCHERNING. *Studien über die Aetiologie der Myopie*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIX. 1. S. 201.





0. E. F. W. PFLÜGER. *Kurzsichtigkeit und Erziehung.*
1. J. STILLING. *Untersuchungen über die Entstehung der Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. Bergmann. 216 S.
2. STRAUMANN. *Ueber ophthalmoskopischen Befund und Hereditärverhältnisse bei der Myopie.* Diss. Basel.
3. K. K. VESZELY. *Zur Genese der Myopie.* Wien. med. Wochenschr. Bd. 37. S. 1119—23, 1150—54, 1173—76.

1888.

4. N. A. BAER. *Ueber das Verhalten des Orbita-Index bei den verschiedenen Refraktionszuständen vom 10.—19. Lebensjahre.* Diss. München.
5. CEVESETO. *La retina del miope è l'unico oggetto che l'ipermetrope possa vedere senza correggere la sua ametropia.* Ann. di Ottalm. S. 385.
6. PETRINI. *Esame dell'occhio miope ad immagine diritta.* Boll. d'Osp. di S. Casa di Loreto. 1887/88. S. 448.
7. SCHNELLER. *Ueber die Entstehung und Behandlung der Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. April. S. 109.
8. J. STILLING. *Schädelbau und Kurzsichtigkeit.* Wiesbaden. J. F. Bergmann. 124 S.
9. — *Ueber Schädelbau und Refraction.* Ber. d. 7. intern. Ophthalm.-Congr. zu Heidelberg. S. 97.
0. L. WEISS. *Zur Beziehung der Form des Orbitaeinganges zur Myopie.* Klin. Mon. Bl. f. Augenheilkde. S. 349.

1889.

1. W. DE JOUG. *Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Myopie.* Diss. Freiburg.
2. NUEL et LEPLAT. *Les vaisseaux réiniens dans la myopie congénitale.* Ann. d'Ocul. CI. S. 154.
3. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Kurzsichtigkeit und Augenhöhlenbau.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (1.) S. 200—219.
4. — *Noch einmal die Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 20. S. 769.
5. — *Bemerkungen zu Stilling's Aufsatz: Ueber Orbital-Messungen bei verschiedenen Refractionen.* Fortschr. d. Med. VII. 15. S. 573.
6. — *Zur Frage der Schulmyopie.* 2. Theil. Mit 4 Fig. im Text. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (4.) S. 249—286.
7. J. STILLING. *Ueber Orbital-Messungen bei verschiedener Refraction.* Fortschr. d. Med. S. 444.
8. — *Ueber neue Orbital-Messungen an Kurz- und Normalsichtigen.* Fortschr. d. Med. VII. 17. S. 647.
9. — *Auch noch einmal Myopie und Orbitalbau.* Fortschr. d. Med. VII. 22. S. 861.

1890.

0. J. ARMINSKI. *Das Verhältniß zwischen dem Fernpunkt des Normalmenschen und seinen Beschäftigungen.* Wien. med. Blätter. No. 40. u. 41.
1. BERRY. *On Myopia: a criticism of the discussion at Birmingham.* Ophthalm. Rev. No. 109. S. 327.
2. H. COHN. *Ueber den Einfluss hygienischer Mafsregeln auf die Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflege. No. 1 u. 2.
3. — *Kurze Replik auf die Entgegnung des Professors v. Hippel betreffs seiner Schrift über Schulmyopie.* Zeitschr. f. Schulgesdhtspflege. No. 4.
4. V. FUKALA. *Treatment of high degrees of myopia bei removal of the lens.* Americ. Journ. of Ophthalm.
5. GALEZOWSKY. *Etude sur quelques variétés graves de myopie et sur les moyens de les guérir.* Rec. d'Ophthalm. S. 513—521 u. 577—586.
6. J. HIRSCHBERG. *Diabetische Kurzsichtigkeit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. 14. Jahrg. S. 7—8.
7. A. KROTOSCHIN. *Anatomischer Beitrag zur Entstehung der Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXII. S. 393.
8. KÜHNEN. *Beschreibung einiger Modelle und Apparate (u. a. auch zur Demonstration der Myopie etc.)* Zeitschr. f. Biol. (N. F.) IX. S. 418—432.
9. NUEL. *Une curiosité physiologique de l'œil myope.* Ann. d'Ocul. Juillet-Août. S. 43.
0. — *Diagnostic de la prédisposition à la myopie.* Rev. gén. de l'Ophthalm. S. 215



2074. NIMIER. *Remarques sur la répartition géographique de la myopie en France.* Bullet. de la Soc. d'Ophthalm. de Paris. S. 1.
2075. OSTWALT. *Réfraction de l'œil fort myope à l'état d'aphakie avec remarques sur les avantages du choix uniforme du foyer antérieur de l'œil muni du cristallin comme point de départ pour toutes les mesures de la réfraction, même de l'œil aphaque.* Rev. gén. d'ophthalm. XI. S. 1—21.
2076. PFLÜGER. *Bemerkungen zur operativen Behandlung hochgradiger Kurzsichtigkeit.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 118—123.
2077. F. POELLER. *Experimental - Beiträge zur Myopie - Hygiene.* Arch. f. Hyg. XIII. S. 335—343.
2078. RYMSZA. *Vergleichende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen dem Refraktionszustande der Augen und dem Schädelbau.* Diss. Dorpat. 65 S.
2079. SCHWEIGGER. *Correction der Myopie durch Aphakie.* Ber. über d. XXII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115—118.
2080. S. STEPHENSON. *A note upon the relative frequency of myopia among Christians and Jews.* Ophthalm. Rev. XI. S. 110—112.
2081. J. STILLING. *Zur Kurzsichtigkeitsfrage.* Berl. med. Wochenschr. No. 16. S. 398.
2082. VALUDE. *Myopie forte. Extraction du cristallin transparent.* Bullet. de la Soc. d'ophthalm. de Paris. S. 30.

## 1898.

2083. K. L. BAAS. *Zur Anatomie und Pathogenese der Myopie.* Knapp u. Schweigger's Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 33—56.
2084. E. GELLZUHN. *Ueber einen Fall von höchstgradiger Uebersichtigkeit mit besonderer Berücksichtigung der Diagnostik.* Diss. Berlin. 29 S.
2085. HAUVEL. *De la myopie, ses rapports avec l'astigmatisme.* Paris. Steinheil.
2086. B. JANKOWSKI. *Beitrag zur Myopiefrage.* Mitth. a. klin. u. med. Inst. d. Schweiz. I. Reihe. 2. Heft. Basel. C. Sallmann. 57 S. — Diss. Bonn.
2087. H. OHLEMANN. *Beitrag zur Schulmyopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXVI. S. 168—180.
2088. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflege. VI.
2089. W. SCHOEN. *Erworbene Brechungsänderungen des Auges.* Arch. f. Augenheilkde. XXVII. S. 268—293.
2090. SCHWEIGGER. *Operative Beseitigung hochgradiger Myopie.* Vortr. i. d. Berl. med. Ges. Dtsch. med. Wochenschr. No. 20.
2091. SULZER. *Quelques faits relatifs au développement de la myopie.* Ann. d'Ocul. Juli.
2092. THIER. *Die operative Correction höchstgradiger Myopie durch Discision der Linse.* Dtsch. med. Wochenschr. XIX. No. 30. S. 717—720.

## 1894.

2093. J. ASHER. *Geschichtlicher und experimenteller Beitrag zum Studium der Entstehung der Myopie.* Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. XVI. S. 19.
2094. M. HORI. *Beitrag zur operativen Behandlung der hochgradigen Myopie.* Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 142—161.
2095. H. J. KESSLER. *Myopia acquisita ten gevolge van aandæning der lens.* Weekblad. No. 6. S. 167.
2096. M. NIEBUHR. *Beitrag zur Lehre von der operativen Behandlung der Myopie.* Diss. Halle. 40 S.
2097. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflege. No. 1 u. 4.
2098. TH. v. SCHRÖDER. *Des résultats du traitement des hauts degrés de myopie par l'extraction du cristallin transparent.* Wiestn. Ophthalm. März-April.
2099. — *Ueber die bisherigen Resultate der operativen Behandlung der hochgradigen Myopie nebst Bemerkungen über die Antiseptik bei Augenoperationen.* St. Petersburg. med. Wochenschr. No. 4.
2100. J. STILLING. *Zur Myopiefrage.* Ztschr. f. Schulgesdhtspflege. No. 3.
2101. — *Beruhet die hochgradige Myopie auf Inzucht?* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 164—165.
2102. — *Myopie und Orbitalbau.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVIII. 1. S. 31.
2103. THIER. *Zur operativen Correction der höchstgradigen Myopie durch Discision der Linse.* Wien. klin. Wochenschr. S. 399.
2104. C. VELHAGEN. *Entsteht hochgradige Myopie durch Inzucht?* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 80—87.
2105. P. VOYBURG. *Verwydering der Lens by myopie.* Weekblad. II. S. 181.



2121. F. C. DONDEES. *Ueber scheinbare Accommodation bei Aphakie*. Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 56.
2122. F. MANNHARDT. *Accommodationsvermögen bei Aphakie*. Klin. Mon.-Bl. XI. S. 87.
2123. WOINOW. *Das Accommodationsvermögen bei Aphakie*. Arch. f. Ophthalm. XIX. (3.) S. 107.
- 1875.
2124. H. SCHOELEB. *Jahresbericht über die Wirksamkeit der Augenklinik*. Berlin. 35 S.
- 1888.
2125. C. AMAT. *Théorie de la vision chez les opérés de cataractes*. Journ. de méd. et pharm. de l'Algérie. VIII. S. 50.
- 1885.
2126. A. FROST. *Supposed power of accommodation in aphakic eye*. Lancet. I. S. 756.
- 1888.
2127. E. SOIMENI. *Un caso di ectopia della lente et della pupilla a contribusione del potere accomodativo nell' afachia*. Boll. d'ocul. IX. No. 19. Rev. clin. d'Ocul. S. 265.
2128. P. SILEX. *Zur Frage der Accommodation des aphakischen Auges*. Arch. f. Augenheilkde. XIX. S. 102.
- 1889.
2129. P. SILEX. *On the question of accomodation of the aphakial eye*. Arch. of Ophthalm. XVIII. S. 274.
- 1898.
2130. H. HOFHAMMER. *Ueber Accommodation bei Aphakischen*. Diss. München.
2131. SCHLOESSER. *Ueber Accommodation aphakischer Augen*. Sitzgs.-Ber. d. Ges. f. Morphol. u. Physiol. München. VIII. S. 131.
- 1894.
2132. H. SATTLEB. *Untersuchungen über die Frage nach dem Vorkommen einer äusseren Accommodation durch Muskeldruck*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (3) S. 239—282.

### 3. Mechanismus der Accommodation.

Hier ist auch die Literatur von § 3. 1 und 2 zu beachten.

- 1611.
2133. KEPLER. *Dioptrice*. Propos. 26.
- 1619.
2134. SCHEINER. *Oculus*. Oeniponti. Lib. III. S. 163.
- 1637.
2135. CARTESIUS. *Dioptrice*. Lugd. Batav.
- 1648.
2136. V. F. PLEMPIUS. *Ophthalmographia*. Lovanii. B. III.
- 1685.
2137. DE LA HIRE. Journ. d. Sçavans S. 398.
- 1698.
2138. STURM. *Dissertatio visionem ex obscurae camerae tenebris illustrans*. Altdorfii. S. 172.
- 1697.
2139. STURM. *Dissertatio de presbyopia et myopia*. Altdorfii.
- 1712.
2140. A. F. WALTHER. *Dissertatio de lente crystallina oculi humani*. Lipsiae. — Auch in Haller's Disput. anat. Vol. IV.
- 1715.
2141. G. BIDLOO. *Observationes de oculis et visu variorum animalium*. Ludg. Batav.
- 1719.
2142. PEMBERTON. *Dissertatio de facultate oculi, qua ad diversas distantias se accommodat*. Lugd. Batav.
- 1738.
2143. J. J. PLATNER. *De motu ligamenti ciliaris in oculo*. Lipsiae. S. 5.



1816.  
2170. MAGENDIE. *Précis élémentaire de Physiologie*. I. S. 73. Paris. Uebers. v. Elsässer. Tübingen. 1834. I. S. 54.
1820.  
2171. G. PARROT. *Entretiens sur la physique*. Dorpat. III. S. 434.
1821.  
2172. JACOBSON. *Suppl. ad Ophthalm.* Kopenhagen.  
2173. C. H. WELLER. *Diätetik für gesunde und schwache Augen*. Berlin. S. 225.
1828.  
2174. J. POPPE. *Die ganze Lehre vom Sehen*. Tübingen. S. 153.  
2175. RUDOLPHI. *Grundriss der Physiologie*. Berlin. II. Abth. 1. S. 9.  
2176. LEHOT. *Nouvelle théorie de la vision*. Paris.  
2177. PURKINJE. *De examine physiologico organi visus et systematis cutanei*. Vratislaviae. (Entdeckung der Linsenreflexe.)
1824.  
2178. D. BREWSTER. *Edinb. Journ. of Sc.* I. S. 77. — *Pogg. Ann.* II. S. 271.  
2179. SIMONOFF. *Magendie's Journal d. Phys.* T. IV.
1825.  
2180. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne*. Berlin. S. 128\*.
1826.  
2181. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig. S. 212.  
2182. HUECK. *Dissertatio de mutationibus oculi internis*. Dorpati.  
2183. MILE. *Magendie's Journal d. Phys.* VI. S. 166.
1828.  
2184. TREVIRANUS. *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Sinneswerkzeuge des Menschen und der Thiere*. Heft I.
1831.  
2185. MORTON. *Americ. Journ. of med. sc.* Novbr.
1832.  
2186. RITTER. *Graefe u. Walther's Journ.* VIII. S. 347.  
2187. FR. ARNOLD. *Untersuchungen über das Auge des Menschen*. Heidelberg. S. 38.  
2188. G. J. LUCHTMAN. *Dissertatio de mutatione axis oculi secundum diversam distantiam objecti ejusque causa*. Traject. ad Rhenum.
1833.  
2189. TH. SMITH. *Philos. Mag.* V. 3. No. 13. — *Schmidt's Jahrb. d. Med.* 1834. I. S. 6.
1834.  
2190. DUGÉS Institut. No. 73.
1835.  
2191. SERRE. *Bullet. de Thérap.* T. VIII. L. 4.
1836.  
2192. VOLKMANN. *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns*. S. 109.  
2193. R. H. KOHLRAUSCH. *Ueber Treviranus' Ansichten vom deutlichen Sehen in der Nähe und Ferne*. Rinteln.
1837.  
2194. SANSON. *Leçons sur les maladies des yeux, publiées par Bardinot et Pigne*. Paris. (Ueber die Reflexe der Krystalllinse.)  
2195. MILE. *Pogg. Ann.* XLII. S. 37 u. 235.
1838.  
2196. PASQUET, *Froriep's Notizen*. Bd. VI. No. 2.
1839.  
2197. J. F. FRIES. *Ueber den optischen Mittelpunkt im menschlichen Auge, nebst allgemeinen Bemerkungen über die Theorie des Sehens*. Jena. S. 27.
1840.  
2198. NEUBER. *Osann's Zeitschr.* Heft 7—12. S. 42.
1841.  
2199. HUECK. *Die Bewegung der Krystalllinse*. Leipzig.  
2200. BONNET. *Froriep's Neue Notizen*. S. 233.
1842.  
2201. DE HALDAT. *Compt. Rend.* 1842.  
2202. ADDA. *Ann. de Chim. et de Phys.* Ser. III. T. XII. S. 94.





2236. \*A. CRAMER. *Het Accommodatievermogen der Oogen physiologisch toegelicht*. Haarlem.  
 2237. L. u. A. FICK in J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 449\*.

## 1854.

2238. F. C. DONDEES. Onderz. ged. in het Physiol. Laborat. der Utrecht'sche Hoogeschool, Jaar VI. S. 61.  
 2239. J. CZERMAK. Prag. Vierteljahresschr. XLIII. S. 109.  
 2240. A. HASENPAT. *De accommodandi facultate*. Berolini.

## 1855.

2241. A. CRAMER. *Physiologische Abhandlung über das Accommodationsvermögen der Augen*. Aus d. Holländ. übersetzt v. Doden, eingeführt durch Stellwag v. Carion. (Preisschr.) Leer.  
 2242. \*H. HELMHOLTZ. *Ueber die Accommodation des Auges*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 1. (2.) S. 1—74.  
 2243. RUETE. *De Irideremia congenita*. Progr. acad. Leipzig. — Virchow's Arch. XII. S. 342.  
 2244. VAN REEKEN. *Ontleedkundig Onderzoek van den toestel voor accommodatie van het oog*. Onderzoekingen gedaan in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Jaar. VII. S. 248—286.

## 1856.

2245. J. P. MAUNOIR. *Mémoire sur l'ajustement de l'œil aux différentes distances*. Arch. d. sc. phys. XXXI. S. 309—316.  
 2246. BRETON. *Adaptation de la vue aux différentes distances, obtenue par une compression mécanique, exercée sur le globe oculaire*. Compt. Rend. XLIII. S. 1161—1162. — Inst. S. 455. — Cosmos. IX. S. 690. X. S. 29—30.  
 2247. GOODSIR. *Notice respecting recent discoveries on the adjustment of the eye to distinct vision*. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 343—345. — Edinb. Journ. (2.) III. S. 339—342.

## 1857.

2248. STOLTZ. *Accommodation artificielle ou mécanique de l'œil à toutes les distances*. Compt. Rend. XLIV. S. 388—390, 618—620. — Arch. d. sc. phys. XXXV. S. 139. — Cimento. VI. S. 154—155. — Cosmos. X. S. 320—321.  
 2249. BAHR. *De oculi accommodatione experimenta nova*. Diss. Berlin.  
 2250. TH. H. BERGER. *De oculi humani functione accommodativa*. Berlin.  
 2251. H. MÜLLER. *Ueber einen ringförmigen Muskel am Ciliarkörper*. Arch. f. Ophthalm. III. (1.) IV. (2.) S. 277—285.

## 1858.

2252. W. MANZ. *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über die Accommodation des Fischeauges*. Diss. Freiburg.

## 1859.

2253. J. MANNHARDT. *Bemerkungen über den Accommodationsmuskel und die Accommodation*. Arch. f. Ophthalm. IV. (1.) S. 269—285.  
 2254. CH. ARCHER. *On the adaptation of the human eye to varying distances*. Phil. Mag. (4.) XVII. S. 224—225.  
 2255. RESPIGHI. *Sull' accommodamento dell' occhio humano per la visione distinta*. Mem. di Bologna. VIII. 355—389. — Zeitschr. f. Chem. S. 10—18.  
 2256. MAGNI. *Dell' addatamento dell'occhio umano alla visione distinta*. Cimento. X. S. 12—20.

## 1860.

2257. J. H. KNAPP. *Über die Lage und Krümmung der Oberflächen der menschlichen Krystalllinse und den Einfluss ihrer Veränderungen bei der Accommodation auf die Dioptrik des Auges*. Arch. f. Ophthalm. VI. (2.) S. 1—52. VII. (2.) S. 136—138.  
 2258. W. HENKE. *Der Mechanismus der Accommodation für Nähe und Ferne*. Arch. f. Ophthalm. VI. 2. S. 53—72.  
 2259. L. HAPPE. *Die Bestimmungen des Sehbereichs und dessen Correction, nebst Erläuterungen über den Mechanismus der Accommodation*. Braunschweig.

## 1861.

2260. A. v. GRAEFE. *Fall von acquirirter Aniridie als Beitrag zur Accommodationslehre*. Arch. f. Ophthalm. VII. (2.) S. 150—161.







2345. W. SCHÖN. a) *Accommodationsmodell*. b) *Ueber die Veränderungen des Auges in Folge der Accommodation bei fortschreitendem Lebensalter*. Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 162.
2346. — *Der Accommodationsmechanismus*. Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 224. 1888.
2347. H. AUBERT. *Über die Schön'sche Theorie des Mechanismus der Accommodation*. Rostocker Ztg. No. 281.
2348. A. CHARPENTIER. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contractions des muscles de l'œil*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 596.
2349. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'œil*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 621.
2350. W. H. JESSOP. *The pupil and accommodation*. Ophthalm. Rev. S. 161—225. 1889.
2351. GALLENGA. *Della misura del tempo nelle determinazione dell'accomodamento*. Parma. L. Battei.
2352. HOQUART. *Physiologie, anatomie et pathologie de l'appareil accommodateur*. Arch. d'Ophthalm. IX. S. 358. 1890.
2353. C. DECKER. *Accommodationskrampf, hervorgerufen durch einen Fremdkörper, der seit sechs Jahren im Glaskörper liegt, ohne weitere Reizerscheinungen zu verursachen*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXVIII. S. 500—501.
2354. G. C. HARLAN. *A case of traumatic dislocation of the lens illustrating the theory of visual accommodation*. Med. News. Philadelphia. VI. S. 354.
2355. J. P. MORAT und M. DOYON. *Le grand sympathique nerf de l'accommodation pour la vision des objets éloignés*. Compt. Rend. CXII. S. 1327—1329. 1892.
2356. TH. BEER. *Studien über die Accommodation des Vogelauges*. Pflüger's Arch. Bd. 53. S. 175—237.
2357. C. NICOLAI. *Over het mechanisme der accommodatie*. Erste Vergadering van het Nederlandsch Oogheelkundig Gezelschap Rotterdam. Weekblad. No. 26. S. 911.
2358. C. E. SEASHORE. *On monocular accommodation-time*. Studies from the Yale psychol. Labor. 1892/93. S. 56.
2359. M. TSCHERNING. *Note sur un changement jusqu'à présent inconnu, que subit le cristallin, pendant l'accommodation*. Arch. de Phys. norm. et pathol. Série V. T. 4. S. 158—164. — Arch. d'ophthalm. XII. S. 168—174. 1893.
2360. TH. GUILLOZ. *Sur l'existence d'un astigmatisme cristallinien accommodatif*. Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 676.
2361. A. MICHEL. *Beitrag zur Frage der Accommodation*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXI. S. 223—251, 267—296.
2362. M. TSCHERNING. *Le mécanisme de l'accommodation*. Extrait d. Ann. de la Policl. de Paris. 1894.
2363. TH. BEER. *Die Accommodation des Fischeauges*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Phys. Bd. 58. S. 523—650.
2364. J. BJERRUM. *Accommodationsmechanismen*. Med. Aarskrift. Kopenhagen.
2365. O. LANGE. *Zur Lehre von der Accommodationswirkung auf das Auge*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. XXXII. S. 94—96.
2366. C. NICOLAI. *Ueber den Mechanismus der Accommodation*. Diss. Nymwegen u. Heidelberg. 29 S.
2367. M. TSCHERNING. *Etude sur le mécanisme de l'accommodation*. Arch. de Phys. (5.) VI. S. 40—53.
- 2367a. — *La déformation de la cristalloïde antérieure pendant l'accommodation*. Compt. Rend. de la Soc. fr. d'Ophthalm.



1858.  
2389. F. LASER. *De achromasia oculi humani*. Regiomani.
1862.  
2390. F. P. LE-ROUX. *Expériences destinées à mettre en évidence le défaut d'achromatisme de l'œil*. Ann. de chimie. (3.) LXVI. S. 173—182. — Cosmos. XX. S. 638—639.
2391. TROUËSSART. *Défaut d'achromatisme de l'œil*. Presse scientifique. S. 72—74.
1863.  
2392. B. A. POPE. *Das Farbenspectrum als Mittel zur Messung der Accommodation und der chromatischen Abweichung des Auges*. Arch. f. Ophthalm. IX. (1.) S. 41.
1867.  
2393. TROUËSSART. *Achromatisme de l'œil*. Mondes. (2.) XIV. S. 591—595.
1868.  
2394. W. v. BEZOLD. *Ueber Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut*. Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.
1869.  
2395. W. v. BEZOLD. *Ueber objective Darstellung von Zerstreuungsbildern*. Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 281—283.
2396. — *Versuche über Zerstreuungsbilder*. Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.
1870.  
2397. W. v. BEZOLD. *Sur les images de diffusion*. Ann. de chim. (4.) XX. S. 225.
1875.  
2398. M' LROD. *Some observations on the defects of the human eye as regards achromatism*. Chem. News. XXXI. S. 170. Phys. Soc. April 1875.
1877.  
2399. S. P. THOMPSON. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance*. Philos. Mag. Juli 1877.
1880.  
2400. PROMPT. *Note sur le défaut de l'achromatisme de l'œil*. Arch. de physiol. Jan.—Febr.
1881.  
2401. PROVENZALI. *Sull' acromatismo dell' occhio*. Atti dell' Acc. pont. de Nuovi Lincei. XXXIV. Sess. I—III. Roma.
1882.  
2402. PROVENZALI. *Sull' acromatismo dell' occhio*. Riv. scientif ind. XIII. No. 21—22.
- 1887.  
2403. O. TUMLIRZ. *Ueber ein einfaches Verfahren, die Farbenzerstreuung des Auges direct zu sehen*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 394.
2404. M. WOLF. *Ein Versuch zur Berechnung der chromatischen Längenabweichung des menschlichen Auges*. Ber. d. 19. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 39.
1888.  
2405. M. WOLF. *Ueber die Farbenzerstreuung im Auge*. Wiedem. Ann. Bd. XXXIII. S. 548.

## § 14.

## Monochromatische Abweichungen.

## 1. Aeltere Litteratur.

1694.  
2406. DE LA HIRE. *Accidens de la vue*. Mém. de l'Acad. de Paris. S. 400.
1738.  
2407. JURIN. *Essay on distinct and indistinct vision*. Smith's Optics. S. 156.
1789.  
2408. HELSHAM. *A course of lectures in natural philosophy*. London.





2438. A. MÜLLER. *Ueber das Beschauen der Landschaften mit normaler und abgeänderter Augenstellung. (Angeblich von Astigmatismus herrührend.)* Pogg. Ann. LXXXVI. S. 147—152. — Cosmos. I. S. 336.
2439. A. BEER. *Ueber den optischen Versuch des Herrn Libri.* Pogg. Ann. LXXXVII. S. 115—120.
2440. J. HIPPESEY. *Phenomena of light.* Athen. S. 1069—1070 u. 1368.
2441. R. W. H. HARDY. *Phenomena of light.* Athen. S. 1306.  
1858.
2442. G. Th. FECHNER. *Ueber einige Verschiedenheiten des Sehens in verticalem und horizontalem Sinne nach verschiedenen Beobachtungen.* Fechner's Centralbl. S. 73—85, 96—99, 374—379 u. 558—561.
2443. L. L. VALÉE. *Théorie de l'œil.* Compt. Rend. XXXVI. S. 769—773 u. 865—867.
2444. FLIEDNER. *Zur Theorie des Sehens.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 29—44.
2445. H. MEYER. *Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 429 u. 540—568.
2446. A. BEER. *Ueber den Hof um Kerzenflammen.* Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 595—597.
2447. POWELL. *On a peculiarity of vision.* Report of the Brit. Ass. 1852. 2. S. 11.  
1854.
2448. J. P. DEPIGNY. (*Hof um Kerzenflammen.*) Arch. d. sc. phys. XXVI. S. 166—172.
2449. A. FICK. Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. N. F. V. S. 277.
2450. J. GUT. *Ueber Doppeltsehen mit einem Auge.* Diss. Zürich. — Henle und Pfeuffer's Zeitschr. (2.) IV. S. 395—400.  
1855.
2451. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen im Auge.* Verh. d. naturf. Ges. in Basel. I. S. 269—282. Arch. d. sc. phys. XXXII. S. 145—146.
2452. H. MEYER. *Ueber den die Flamme eines Lichts umgebenden Hof u. s. w.* Pogg. Ann. XCVI. S. 235—262, 603—607 u. 607—609.  
1856.
2453. H. MEYER. *Ueber die Strahlen, die ein leuchtender Punkt im Auge erzeugt.* Pogg. Ann. XCVII. S. 233—260. XCVIII. S. 214—242.  
1857.
2454. VAN DER WILLIGEN. *Eine Lichterscheinung im Auge.* Pogg. Ann. CII. S. 175 bis 176.
2455. J. TYNDALL. Philos. Mag. (4.) XI. S. 332. (Ein Fall, wo Interferenzringe im Gesichtsfelde erschienen, ähnlich denen eines mit Lycopodium bepulverten Glases.)  
1858.
2456. G. M. CAVALLIERI. *Sulla cagione del vedere le stelle e i punti luminosi affetti da raggi.* Cimento. VIII. S. 321—360.  
1859.
2457. KNAPP. *Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges.* Heidelberg.  
1860.
2458. F. ZÖLLNER. *Beiträge zur Kenntniß der chromatischen und monochromatischen Abweichung des menschlichen Auges.* Pogg. Ann. CXI. S. 329—336. — Ann. de chim. (3.) LX. S. 506—509.

## 2. Regulärer Astigmatismus.

Weitere Litteratur über Hornhautastigmatismus ist in § 2 angegeben.

- 1860.
2459. WHARTON JONES. *Analysis of my sight, with a view to ascertain the focal power of my eyes for horizontal and for vertical rays, and to determine whether they possess a power of adjustment for different distances.* Proc. of Roy. Soc. X. S. 380—385. Phil. Mag. (4.) XX. S. 480—483.  
1861.
2460. F. C. DONDERS. *Beiträge zur Kenntniß der Refractions- und Accommodationsanomalien.* Arch. f. Ophthalm. VII. (1.) S. 155—204.  
1862.
2461. FÖRSTER. *Ophthalmologische Beiträge.* Berlin, Enslin.



2497. E. JAVAL. *De l'astigmatisme*. Rev. méd. II. S. 52.

2498. — *Nouvel instrument pour la détermination de l'astigmatisme*. Ann. d'oculist. T. 57. S. 39.

1868.

2499. O. BECKER. *Tafeln zur Bestimmung des Astigmatismus*. Wien.

2500. W. DOBROWOLSKY. *Ueber verschiedene Veränderungen des Astigmatismus unter dem Einfluss der Accommodation*. Arch. f. Ophthalm. XIV. (3.) S. 51—105.

2501. F. E. REUSCH. *Theorie der Cylinderlinsen*. Leipzig. Teubner.

1869.

2502. E. BRÜCKE. *Ueber asymmetrische Strahlenbrechung im menschlichen Auge*. Wien. Ber. LVIII. 2. S. 321—329.

2503. JOHN GREEN. *On a new System for Tests for the Detection and Measurement of Astigmatism with an Analysis of sixty four Cases of refractive Anomalies observed by the aid of this Method*. Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 131.

2504. — *On a colour Test for Astigmatism*. Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 130.

2505. E. JAVAL. *De la lentille de Stokes*. Ann. d'oculist. T. 61. S. 73.

2506. H. D. NOYES. *Observations in Astigmatism*. Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. IV. V.

2507. O. M. PRAY. *Test Type for Astigmatism*. Arch. f. Ophthalm. and Otolog. I. II. S. 17.

2508. — *Probuchstaben zur Prüfung des Astigmatismus*. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. I. (1.) S. 147.

2509. R. SCHIRMER. *Contributions à l'histoire de l'astigmatisme et de l'hypermetropie*. Ann. d'Ocul. LXII. S. 202.

2510. H. SNELLEN. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog*. Versl. Nederl. Gasth. v. Oogl. No. 10. S. 151. Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 191—207.

1870.

2511. HEYMANN. *Astigmatismus-Tafeln nach Dr. Pray*. Leipzig. Engelmann.

2512. H. SNELLEN. *De richting der hoofdmeridianen van het astigmatische oog*. Nederl. Arch. v. Gen. en Naturk. V. S. 43.

1871.

2513. E. BERLIN. *Zur Berechnung des Astigmatismus der Hornhaut*. Klin. Mon.-Bl. IX. S. 217.

2514. G. HAY. *Ueber Knapp's allgemeine Formeln für astigmatische Strahlen und deren Special-Anwendung auf das Auge*. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. II. (1.) S. 187.

2515. STRAWBRIDGE. *An additional method for the determination of Astigmatisme*. Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 100—105.

1873.

2516. E. JAVAL. *Des variations de l'astigmatisme*. Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 270.

2517. — *Divers appareils pour la mesure de l'astigmatisme*. Compt. Rend. de la soc. de Biol. 5 juill. S. 303.

2518. — *Appareil pour la mesure de l'astigmatisme*. Gaz. med. de Paris.

2519. H. SNELLEN. *Die Stokes'sche Linse mit constanter Axe*. Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 78—88.

1874.

2520. H. SNELLEN u. E. LANDOLT. *Die Functionsprüfungen des Auges*. Gräfe-Sämisch Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. III. Cap. I. Leipzig.

1876.

2521. L. MAUTHNER. *Die optischen Fehler des Auges*. Wien. S. 43 u. 564.

2522. J. TWEEDY. *On an improved Optometer for estimating the degree of abnormal regular Astigmatism*. Lancet. 28. Octbr.

1877.

2523. G. HAY. *Ueber die analytischen Bedingungen derjenigen Form des astigmatischen Strahlenbüschels, in welcher die beiden Brennpunkte auf einander und jede auf der Axe des Strahlenbüschels senkrecht stehen, und über die Correction eines solchen Strahlenbüschels durch eine plancylindrische Linse*. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. VI. S. 48.













1881.

2677. L. MATTHIESSEN. *Untersuchungen über den Aplanatismus und die Periscopie der Krystalllinsen in den Augen der Fische.* Pflüg. Arch. Bd. 21. S. 287 u. Bd. 25. S. 193.  
 2678. W. SCHÖN. *Der Aplanatismus der Hornhaut.* Horner-Festschrift Wiesbaden. S. 125—131.

1883.

2679. E. JAVAL. *Les yeux décentrés.* Gaz. des Hôp. S. 486.

1884.

2680. M. EHNRÖOTH. *Zur Frage über die Lage der Gesichtslinie und die Centrirung der brechenden Flächen im Auge.* Pflüger's Arch. XXXV. S. 390.

1885.

2681. ZEHENDER. *Ueber den Gang der Lichtstrahlen bei schräger Incidens. Ueber aplanatische Brillengläser.* Ber. üb. d. 17. Vers. d. ophth. Ges. in Heidelberg. S. 29 u. 36.

1886.

2682. A. SEELIGER. *Ueber den Einfluss dioptrischer Fehler des Auges auf das Resultat astronomischer Messungen.* Abh. d. math.-phys. Klass. d. Acad. d. Wiss. zu München. S. 665.

1888.

2683. JACKSON. *Symmetrical aberration of the eye.* Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 141.

2684. TSCHERNING. *Le centrage de l'œil humain.* Compt. Rend. Bd. 106. S. 1689.

2685. — *Étude sur la position du cristallin de l'œil humain.* C. R. de l'acad. des sc. 16 avril 1888.

1890.

2686. TSCHERNING. *De l'influence de l'aberration de sphéricité sur la réfraction de l'œil.* Réponse à l'article du Dr. Chibret: *Astigmatisme selon et contre la règle.* Arch. d'Ophthalm. X. 5. S. 445.

1891.

2687. S. FINSTERWALDER. *Die von optischen Systemen größerer Oeffnung und größeren Gesichtsfeldes erzeugten Bilder. Auf Grund der Seidel'schen Formeln untersucht.* Abhandlg. d. k. bayr. Akad. d. Wiss. München, 1891. 71 S.

2688. SULZER. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision.* Arch. d'ophthalm. XI. S. 419—435. — Progr. méd. No. 19—20. — Recueil d'ophthalm. No. 5. S. 282.

1892.

2689. SULZER. *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. 2<sup>e</sup> Partie: Influence de la cornée sur la vision.* Arch. d'Ophthalm. XII. S. 32—50.

2690. — *La forme de la cornée et son influence sur la vision.* Paris. Steinheil.

1893.

2691. LEROY. *Méthode pour mesurer objectivement l'aberration sphérique de l'œil vivant.* Rev. gén. d'Ophthalm. XII. S. 112—115.

2692. — *Sur l'aberration sphérique de l'œil humain; mesure du sénilisme cristallinien.* Compt. Rend. Bd. 116. S. 636—639.

2693. M. TSCHERNING. *L'aberroscope.* Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 615—623.

1894.

2694. M. TSCHERNING. *Die monochromatischen Aberrationen des menschlichen Auges.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 456—471.

#### 4. Irregulärer Astigmatismus.

1867.

2695. E. SANG. *On some phenomena of indistinct vision.* Proc. Edinb. Soc. VI. S. 58—59.

1868.

2696. W. v. BEZOLD. *Über Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut.* Arch. f. Ophthalm. XIV. (2.) S. 1.

1869.

2697. W. v. BEZOLD. *Über objektive Darstellung von Zerstreuungsbildern.* Arch. f. Ophthalm. XV. (3.) S. 281—283.

2698. — *Versuche über Zerstreuungsbilder.* Pogg. Ann. Bd. 138. S. 554—560.



## § 15.

## Die entoptischen Erscheinungen.

Außer den hier aufgeführten Abhandlungen ist auch ein Theil der in § 25 angegebenen Litteratur zu berücksichtigen.

1690.

2724. M. DECHALES. *Cursus seu mundus mathematicus*. Lugduni. III. S. 402.

1694.

2725. DE LA HIRE. *Accidens de la vue*. Mém. de l'Acad. d. sc. S. 358.

2726. PITCAIRN. *Opera*. Lugd. Bat. S. 203 u. 206.

1722.

2727. MORGAGNI. *Adversaria anatomica*. VI. Anim. LXXV. S. 94. Lugd. Bat.

1740.

2728. LE CAT. *Traité des sens*. Rouen. S. 289.

2729. ASPINUS. *Novi Comment*. Petrop. VII. S. 303.

1760.

2730. *Histoire de l'Acad. d. sc. pour l'an 1760*. S. 57.

1795.

2731. G. C. BEIRNIS et J. H. CH. VOGLEB. *De maculis ante oculos volitantibus*. Helmstadt.

1819.

2732. PURKINJE. *Beiträge zur Kenntniss des Sehens*. S. 89.\*

1825.

2733. PURKINJE. *Neue Beiträge*. S. 115 u. 117.\*

1834.

2734. D. BREWSTER. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye*. The London and Edinburgh Philos. Mag. IV. S. 115—120.

2735. M. GRIFFITH. *Observations on the vision of the retina*. Philos. Magaz. IV. S. 43 bis 46.

2736. T. W. W. *Observations on the visibility of the retina; with remarks upon its probable cause*. Philos. Mag. IV. S. 354—360.

1842.

2737. STEIFENSAND. Pogg. Ann. LV. S. 134.\* v. Ammon's Monatsschr. f. Med. I. S. 103.

2738. SOTTEAU. *Recherches sur les apparences visuelles sans object extérieur, connues sous le nom vulgaire de mouches volantes*. Ann. et Bull. de la Soc. de méd. de Gand. XI. Septbr.

1845.

2739. \*LISTING. *Beitrag zur physiologischen Optik*. Göttingen.\*

2740. D. BREWSTER. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XV. S. 377.

2741. MACKENZIE. Edinb. Med. and Surg. Journ. July.

1846.

2742. F. C. DONDERS. *Over entoptische gezichtsverschijnselen en derzelver toepassing voor de herkenning van ooggebreken*. Nederl. Lancet. 1846—47. 2<sup>e</sup> Ser. D. II. bl. 345, 432 u. 537.

1848.

2743. D. BREWSTER. *Observations on the supposed vision of the blood-vessels of the eye*. Phil. Mag. XXXII. 1; — Arch. d. sc. phys. et natur. de Genève. VIII. S. 299.

1849.

2744. GUDDEN. J. Müller's Arch. S. 522.\*

1850.

2745. F. C. DONDERS. *Het entoptisch onderzoek tot herkenning van oogziekten*. Nederl. Lancet. 1850—51. S. 521.

1858.

2746. APPIA. *De l'oeil vu par lui même*. Genève.

2747. TROUSSART. *Suite des recherches concernant la vision*. Compt. Rend. XXXVI. S. 144—146.







1851.

2819. H. HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels zur Untersuchung der Netzhaut im lebenden Auge.* Berlin.

1852.

2820. TH. RUETE. *Der Augenspiegel und das Optometer.* Göttingen.  
 2821. H. HELMHOLTZ. *Ueber eine neue einfachste Form des Augenspiegels.* Vierordt's Arch. f. physiol. Heilkde. XI. S. 827.  
 2822. F. C. DONDERS. *De oogspiegel van Helmholtz.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. I. S. 248.  
 2823. E. FOLLIN. *Archives générales de Médecine.* Juli.  
 2824. A. COCCIUS. *Ueber die Ernährungsweise der Hornhaut.* Leipzig.  
 2825. FROEBELIUS. *Medic. Zeitung Rußlands.* No. 46.

1853.

2826. A. COCCIUS. *Ueber die Anwendung des Augenspiegels nebst Angabe eines neuen Instruments.* Leipzig\*.  
 2827. A. C. VAN TRIGT. *Dissertatio de Speculo oculi.* Utrecht; Nederl. Lancet. Ser. 3. Dl. II. S. 430. Deutsch mit Zusätzen von SCHAUENBURG. Jahr 1854.  
 2828. H. A. O. SAEMANN. *De speculo oculi.* Regiomonti.  
 2829. R. ULRICH. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer Zeitschr. f. ration. Med. Neue Folge. IV. S. 175\*.  
 2830. MEYERSTEIN. *Beschreibung eines neuen Augenspiegels.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rational. Medicin. Neue Folge. IV. S. 310.  
 2831. E. FOLLIN et NACHET. *Mém. de la Société de Chirurgie.* III.  
 2832. MARESSAL DE MARSILLY. *Notice sur l'ophthalmoscope de Follin et Nachet.* Ann. d'ocul. XXVII. S. 55.  
 2833. F. C. DONDERS. *Nadere waarnemingen met den oogspiegel.* Nederl. Lancet, (ser. 3). Jahrg. III. S. 486 u. 520.  
 2834. SPENCER WELLS. *Medical Times.* Septbr.

1854.

2835. F. C. DONDERS. *Verbeteringen van den oogspiegel.* Onderzoekingen gedan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Jaar VI. bl. 131\* u. 153\*.  
 2836. — *Ueber die sichtbaren Erscheinungen der Blutbewegung im Auge.* Arch. f. Ophthalm. I. (2.) S. 75. — Nederl. Lancet, (ser. 3.) Jahrg. IV. S. 253.  
 2837. ANAGNOSTAKIS. *Essai sur l'exploration de la rétine et des milieux de l'oeil sur le vivant un moyen d'un nouvel ophthalmoscope.* Paris. (Ein durchbohrter Hohlspiegel.) — Ann. d'ocul. Février et Mars.  
 2838. STELLWAG VON CARION. *Optische Theorie der Augenspiegel.* Wien.\*  
 2839. G. A. LEONHARD. *De variis oculorum speculis illorumque usu.* Leipzig.  
 2840. TH. RUETE. *Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges.* Leipzig. Lieferung 1 u. 2 auch unter dem Titel: *Physikalische Untersuchung des Auges.* S. 23—37\*.  
 2841. C. H. SCHAUENBURG. *Der Augenspiegel, seine Anwendung und Modificationen, nebst Beiträgen zur Diagnostik innerer Krankheiten.* Nach dem Holländischen des Dr. van Trigt mit Zusätzen. Jahr.  
 2842. W. ZEHENDER. *Ueber die Beleuchtung des inneren Auges mit specieller Berücksichtigung eines nach eigener Angabe construirten Augenspiegels.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. I. (1.) S. 121\*.  
 2843. R. LIEBREICH. *Ophthalmoskopische Notizen.* Arch. f. Ophthalm. I (2) S. 333.

1855.

2844. STELLWAG VON CARION. *Zeitschr. d. Aerzte z. Wien.* XI. S. 65\*.  
 2845. v. HASNER. *Ueber den Augenspiegel.* Prag. Vierteljahrsschr. XII. S. 133.  
 2846. — *Ueber die Benutzung folirter Glaskinsen.* Prag.  
 2847. E. JAEGER. *Beiträge zur Pathologie des Auges mit Abbildungen in Farbendruck.* Wien.  
 2848. — *Ergebnisse der Untersuchung des menschlichen Auges mit dem Augenspiegel.* Wien. Ber. XV. S. 319—344.

1856.

2849. CASTERANI. *Ophthalmoscope.* Cosmos. VIII. S. 612.  
 2850. E. JÄGER. *Ueber die Anwendung des Ophthalmoskopes als Optometer.* Oesterr. Zeitschr. f. prakt. Heilkde. No. 10.  
 2851. DE LA CALLE. *De l'ophthalmoscope.* Diss. Paris.





2881. F. C. DONDEES. *Omtrent de uitwendige staten van het oog en den daarin waarnem-  
baren bloedsomloop.* Versl. v. het Nederl. Gasthuis v. Oogl. No. 5. S. 260.
2882. MONOYER. *Un Ophthalmoscope portatif.* Ann. d'Ocul. LII. S. 210.  
1867.
2883. GIRAUD-TEULON. *Instrument zur Messung der Sehnerven-Papille.* Klin. Mon.-Bl.  
V. S. 297.
2884. — *D'une nouvelle combinaison ophtalmoscopique.* Ann. d'Ocul. LVII. S. 82.
2885. L. MAUTHNER. *Die Bestimmung der Refraktionsanomalien mit Hülfe des Augen-  
spiegels.* Wien.
2886. — *Lehrbuch der Ophthalmoskopie.* Wien.
2887. H. WILSON. *Ueber Augenuntersuchung mit Hülfe des Ophthalmoskopes.* Dubl. Journ.  
XLIV. S. 87.
2888. — *Leçons sur la théorie et la pratique de l'ophthalmoscope.* Dublin 1868.  
1868.
2889. E. BERTHOLD. *Construction eines Augenspiegels zum Gebrauche bei Vorlesungen.*  
Med. Centralbl. S. 373—374.
2890. BOUCHUT. *Emploi de l'ophthalmoscope.* Mondes. (2.) XVII. S. 274.
2891. E. A. COCCIUS. *De apparatu optico ad interiores bulbi oculi morbos demonstrandos  
constructo.* Leipzig. Universitätsprogramm.  
1869.
2892. C. M. GABRIEL. *Sur l'ophthalmoscope.* Paris.
2893. GIRAUD-TEULON. *De l'influence, qu'exercent les lentilles positives et négatives et leur  
distance à l'oeil, sur les dimensions des images ophtalmoscopiques du disque optique,  
dans les anomalies de la réfraction oculaire.* Compt. Rend. LXIX. S. 384—387.
2894. E. v. JÄGER. *Ophthalmoskopischer Handatlas.* Wien.
2895. M. PERRIN. *Description d'oeil artificiel destiné à faciliter les études ophtalmoscopiques.*  
Ann. d'Ocul. LXI. S. 163.
2896. PONCET. *Ophthalmoscope à chambre noire.* Gaz. hebdom. de méd. et de chir.  
No. 32. S. 501.
2897. M. WOINOW. *Bemerkungen über die Untersuchungen der Refraction mittelst des  
Augenspiegels.* Med. Centralbl. S. 881—885.  
1870.
2898. A. CLEBSCH. *Ueber die Gröfse des ophtalmoscopischen Bildes.* Göttingen.
2899. W. DOBROWOLSKY. *Waarnemingen omtrent den bloedsomloop in den bodem van het  
oog bij den hond en bij den mensch.* Versl. Ned. Gasth. voor Oogl. No. 11. S. 170.
2900. — *Zur Lehre über die Blutcirculation im Augenhintergrund des Hundes und  
Menschen.* Centralbl. f. d. Med. Wiss. No. 20. u. 21.
2901. JAVAL. *Nouvel ophthalmoscope.* Gaz. hebdom. S. 278. Ann. d'Ocul. LXIII. S. 287.
2902. R. LIEBREICH. *Atlas der Ophthalmoskopie.* Berlin. Hirschwald. 2. Aufl.
2903. E. G. LORING. *Determination of the optical condition of the eye by the ophthalmoscope,  
with a new modification of the instruments for that purpose.* Americ. Journ. of  
med. Science. S. 323—347.
2904. F. MOHR. *Das Ophthalmophantom, ein neues Hilfsmittel zur Erlernung der Ophthal-  
moskopie.* Deutsche Klinik No. 26. S. 241—243.
2905. — *Das Ophthalmophantom und der Augenspiegel als Optometer.* Würzburg.
2906. M. PERRIN. *Traité pratique d'ophtalmoscopie et d'optométrie.* Paris.
2907. C. SCHWEIGER. *Ueber die Gröfse des ophtalmoscopischen Bildes.* Nachr. v. d.  
k. Ges. d. Wiss. Göttingen. No. 9.
2908. DE WECKER et ROGER. *Objectif à prismes pour l'usage d'un ophthalmoscope démon-  
stratif.* Bull. de l'Acad. des Sciences. 4 avril.  
1871.
2909. E. LORING. *Ueber den ophtalmoscopisch sichtbaren hellrothen Streifen in der Mitte  
der Netzhautgefäße.* Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkde. II. S. 199.  
1872.
2910. B. CARTER. *Ein Augenspiegel von neuer Construction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde.  
X. S. 282.
2911. H. COHN. *Ein Augenspiegel für schnelle Refraktionsbestimmung.* Klin. Mon.-Bl. f.  
Augenheilkde. X. S. 207.
2912. J. HOGG. *Ophthalmoscope à démonstration.* Med. Times and Gazette.
2913. TH. LEBER. *Der Augenspiegel.* Berlin.



2944. J. F. C. THEL. *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild*. Diss. Berlin.
2945. — *Untersuchungen über das aufrechte Netzhautbild*. Beitr. z. prakt. Augenheilkde. v. J. Hirschberg. Heft 2. S. 24—32. Leipzig, Veit u. Co.
2946. L. WEISS. *Die Vergrößerung, in der man bei der Augenspiegel-Untersuchung im aufrechten Bild den Augengrund sieht — durch Messung des Augenspiegelbildes der Papille und Messung des anatomischen Durchmessers der Papille an ein und demselben Auge — direct bestimmt*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (1.) S. 109—156. 1878.
2947. H. ARMAIGNAC. *Traité élément. d'Ophthalmoscopie, d'Optometrie et de Réfraction oculaire*. Paris. Delahaye. 463 S.
2948. G. ENGELHARDT. *Ueber eine neue Form des Augenspiegels*. München, Knorr u. Hirth. 36 S.
2949. G. HALTENHOFF. *Note sur un cas d'aphakie et aniridie traumatiques permettant l'observation du fond de l'oeil sans ophthalmoscope*. Genève. (Congr. méd. intern. de Genève.)
2950. HASNER. *Ueber die Vergrößerung des Retinalbildes*. Prag. Vierteljahrschr. S. 40 bis 46.
2951. J. HIRSCHBERG. *Zur objectiven Refraktionsbestimmung*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 262—263.
2952. E. LANDOLT. *Manuel d'Ophthalmoscopie*. Paris, Doin. 107 S.
2953. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur objectiven Refraktionsmessung*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 260—262.
2954. — *Ueber ophthalmoscopische Refraktionsbestimmung mit Hülfe des umgekehrten Bildes*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 211. 1879.
2955. G. ENGELHARDT. *Ueber einen neuen Augenspiegel*. Jahresber. d. Ges. f. Natur- u. Heilkde. in Dresden. 1878—1879.
2956. W. R. GOWERS. *A manual and atlas of medical ophthalmoscopy*. London, Churchill.
2957. K. GROSSMANN. *Das Refractionsophthalmoskop*. Zehender's kl. Mon.-Bl. März.
2958. J. HIRSCHBERG. *Ueber den stabilen Augenspiegel*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 171—172.
2959. — *Ueber Refractionsophthalmoskope*. The Roy. Lond. Ophthalm. Hosp Rep. IX. 3.
2960. A. v. REUSS. *Einige Beobachtungen über functionelle und ophthalmoskopische Refraktionsbestimmung*. Arch. f. Ophthalm. XXV. (1.)
2961. SAMELSON. *Ueber Wahrnehmbarkeit des Augengrundes bei Aphakie*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. III. S. 79.
2962. SCHNABEL. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergrößerung*. Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287.
2963. J. STILLING. *Notiz über Orthoskopie des Augengrundes*. Zehender's kl. Mon.-Bl. Februar.
2964. L. DE WECKER. *Ophthalmoscope à double disque*. Ann. d'Ocul. Bd. 83. 3/4. — Zehender's kl. Mon.-Bl. März. 1880.
2965. E. LANDOLT. *On the Enlargement of Ophthalmoscopic Images*. Brit. med. Journ. 3. Jan.
2966. PARENT. *Grossissement de la loupe et des images ophthalmoscopiques*. Rec. d'Ophthalm. Juli.
2967. J. SCHNABEL. *Zur Lehre von der ophthalmoskopischen Vergrößerung*. Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 287—299. 1881.
2968. D. F. BAROFFIO. *Della determinazione e misurazione dello stato diottrico statico all'ottalmoscopia*. Giorn. di med. mil. Roma. XXIX. S. 1049.
2969. BAYER. *Die Untersuchung der Thiere mit dem Augenspiegel*. Oesterr. Vierteljahrsch. f. Veterinärkde. Bd. 55. S. 77.
2970. H. COURSSERANT. *Note sur un ophthalmoscope à deux observateurs*. France méd. II. S. 722.
2971. FÖRINGER. *Die Ophthalmoskopie in der Veterinärmedizin*. Votr. f. Thierärzte, red v. Prof. Siedamgrotzky. Heft 4.
2972. PARENT. *Optométrie ophthalmoscopique à l'image renversée*. Rec. d'Ophthalm. III. No. 9. S. 544.



3005. NACHET. *Ophthalmoscope à bouton automatique*. Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 161.  
 3006. F. OSTWALDT. *Experimentelle Untersuchung über den centralen Reflexstreifen an den Netzhautgefäßen*. Diss. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Febr.-März.  
 3007. PARENT. *Description d'un ophthalmoscope à verres cylindriques*. Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 130.  
 3008. PFLÜGER. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop*. Ber. d. ophthalm. Ges. z. Heidelberg. S. 183.  
 3009. ROULOT. *Ophthalmoscope à réfraction*. Ann. d'Ocul. Bd. 90. S. 28.  
 3010. J. B. STORY. *The estimation of refraction by retinoscopy before and after atropinisation*. Ophthalm. Rev. London. II. S. 294.

## 1884.

3011. BURNETT. *Why the eyes of animals shine in the dark*. Pop. Sc. Month. New-York. XXIV. S. 813.  
 3012. F. DUJARDIN. *L'examen ophtalmoscopique chez les tout jeunes enfants*. Journ. d. scienc. méd. de Lille. VI. S. 575.  
 3013. EPERON. *De la détermination à l'image droite des degrés élevés de myopie*. Arch. d'Ophthalm. S. 217.  
 3014. HEUSE. *Ein Lichtreflex der Retina*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 155 bis 158.  
 3015. F. HODGES. *On some peculiarities connected with retinal images*. Brain. VII. S. 77.  
 3016. J. MASSELOIN. *Mémoire d'ophtalmoscopie*. Paris. Doin.  
 3017. L. MAUTHNER. *Historische Notiz in Betreff der Lehre vom Leuchten der Augen*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Septbr. S. 257.  
 3018. G. MAYERHAUSEN. *Vorschlag zur Bezeichnung der Augenspiegel, sowie der optischen Spiegel überhaupt*. Berl. klin. Wochenschr. XXI. No. 36. — Rev. clin. d'ocul. 5<sup>me</sup> année. No. 7.  
 3019. H. PARENT. *Nouvel ophthalmoscope*. Bull. de l'arsén. méd.-chir. 1883/84. I. S. 60. — Rev. clin. d'ocul. August.  
 3020. — *Disque rotatif et pivotant muni de quatre miroirs pour l'examen à l'image droite*. Rec. d'Ophthalm. S. 170.  
 3021. PFLÜGER. *Ein neues Refractions-Ophthalmoskop*. Ber. über die Univ.-Augen-Klin. in Bern. 1882. S. 69.  
 3022. RIMPLER. *Ueber ophtalmoskopische Refractionsbestimmung*. Dtsche. Wochenschr. S. 721.  
 3023. *Ophthalmoscopes à refraction munis de verres cylindriques*. Progr. méd. XII. S. 262.

## 1885.

3024. AGNEW. *The insufficiency of the ophthalmoscope as the sole test of errors of refraction*. Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 112.  
 3025. A. H. BENSON. *A convenient ophthalmoscope for students and practitioners*. Brit. med. Journ. I. S. 68.  
 3026. BERGER. *Refractions-Ophthalmoskop mit variablem Intervalle zwischen je zwei Correctionsgläsern*. Zeitschr. f. Instrumentenkde. V. Heft 3.  
 3027. BURCHARDT. *Dioptriometer für das aufrechte Bild*. Centralbl. f. chir. u. orthop. Mech. I. S. 39.  
 3028. S. M. BURNETT. *Why the eyes of animals shine in the dark*. Wash. Bull. Phil. soc. VIII. S. 13—14.  
 3029. COUPER. *New Ophthalmoscope*. Lancet. I. S. 112.  
 3030. W. DENNET. *The electric light ophthalmoscope*. Transact. of the Amer. ophthalm. Soc. S. 156. — New York. Med. Rec. Mai. S. 503.  
 3031. J. B. EMERSON. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy*. New York Med. Rec. Oktbr. S. 398.  
 3032. FERRI. *Grandezza del fondo oculare visibile ad immagine diritta*. Giorn. d. r. Accad. di med. di Torino. (3.) XXXIII. S. 48.  
 3033. FOX. *An improved refraction ophthalmoscope*. Med. News. Phil. XLVI. S. 279.  
 3034. GALEZOWSKY. *Traité iconographique d'ophtalmoscopie*. Paris. Baillière.  
 3035. GUNN. *New Ophthalmoscope*. Lancet. I. S. 112.  
 3036. E. JACKSON. *A new form of refraction ophthalmoscope*. Transact. of the amer. ophthalm. soc. 21. meeting. S. 111. — Med. News. XLVII.  
 3037. LANG. *New Ophthalmoscope*. Lancet. I. S. 112.



1888.

3071. L. BELLARMINOW. *Neue Methode der ophthalmoskopischen Untersuchung.* (Russisch.) Russk. Med. No. 44. — Münch. med. Wochenschr. S. 865.
3072. — *Erwiderung.* Berl. kl. Wochenschr. S. 1049.
3073. P. BONGERS. *Einfache Methode der Refraktionsbestimmung im umgekehrten Bilde.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 194.
3074. CLAIBURNE. *The theory and practice of the ophthalmoscope.* Detroit, G. S. Davis. 88 S.
3075. J. DAWSON. *The determination of errors of refraction by objective test.* Transact. South. Car. u. Assoc. Charleston. S. 77.
3076. J. B. EMERSON. *A schematic eye for students of ophthalmoscopy.* Post Graduate. New-York 1888/89. S. 46.
3077. L. DA FONSECA. *Atlas ophthalmoscopique.* Correio med. de Lisboa. Nov. u. Dec.
3078. GUAITA. *Sulla distinzione ottalmoscopica del pigmento retinico e corioideale.* Ann. di Ottalm. S. 501.
3079. G. HAENEL. *Objective Messung der Refraction des Auges.* Jahresber. d. Ges. f. Nat.- u. Heilkde. in Dresden. 1887/88. S. 121.
3080. J. HIRSCHBERG. *Ueber H. Dr. Bellarminow's neue Art der ophthalmoskopischen Untersuchung.* Berl. med. Wochenschr. No. 49.
3081. C. HOOR. *Objective Methoden zur Einstellungs- (Refractions-) Bestimmung der Augen.* Wien. med. Wochenschr. No. 20.
3082. L. HOWE. *A new method of testing the refraction of the eye.* Lancet. 3. März. S. 417.
3083. LEROY. *Moyen d'éviter le reflet cornéen.* Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 280.
3084. B. SCHWARZBACH. *A new method of ophthalmoscopy.* Austral. Med. Gaz. Sydney. VIII. S. 236.
3085. S. SEGAL. *Ein Apparat zur Demonstration von ophthalmoskopischen Bildern des Phantoms von Perrin.* (Russisch.) Abh. d. med. Sect. d. Ges. d. Experim.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. II. S. 39.
3086. F. VALK. *An improved ophthalmoscope.* Post Graduate. New-York. 1888/89. VII. S. 48.
3087. A. VOSSIUS. *Leitfaden zum Gebrauch des Augenspiegels für Studierende und Aerzte.* 2. Aufl. Berlin, A. Hirschwald.

1889.

3088. L. BORTHEM. *Neuer Refraktionsaugenspiegel mit zwei Brennweiten.* Nord. ophthalm. Tidsskr. II. S. 105. — Norsk. Mag. f. Lægevid. No. 9.
3089. — *Nouvel ophthalmoscope à réfraction à deux foyers.* Rev. gén. d'Ophthalm. S. 337.
3090. — *Ein neues Refraktionsophthalmoskop mit doppeltem Spiegel.* Kl. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 424—429.
3091. S. DRUTSCHININ. *Vereinfachte Methode der objectiven Refraktionsbestimmung.* (Russisch.) Westnik ophthalm. VI. 4/5. S. 316.
3092. A. GROENOUW. *Wo liegt die vordere Grenze des ophthalmoskopisch sichtbaren Augenhintergrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 29.
3093. A. HODGKINSON. *On the luminosity of eyes in the dusk.* Mem. a. Proc. Manchester Literar. a. Phil. Soc. (4) II. S. 224.
3094. L. KÖNIGSTEIN. *Practische Anleitung zum Gebrauch des Augenspiegels.* Wien u. Leipzig, Urban u. Schwarzenberg.
3095. H. MAGNUS. *Ueber ophthalmoskopische Erscheinungen in der Peripherie des Augengrundes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. (3.) S. 1—25.
3096. A. RANDALL. *Ueber den nasalen Reflexbogenstreif von Dr. L. Weifs.* Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 178.
3097. — *The curvilinear reflection of Weifs as a prodromal sign of myopia.* Med. News. LIV. No. 6. S. 152.
3098. SCHMIDT-RIMPLER. *Prioritätsreclamation gegen Bellarminow.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Januar. S. 25.
3099. SCHWEIGGER. *Ueber den electrischen Augenspiegel.* Verh. d. physiol. Ges. Berlin. — du Bois' Arch. S. 365—366.

1890.

3100. L. BORTHEM. *A new refraction ophthalmoscope.* Brit. med. Journ. 18. Januar.









3194. CROSS. *Retinoscopy*. Americ. Journ. of Ophthalm. S. 290. — Transact. of the Intern. med. Congr. Washington. III. S. 770.
3195. CUIGNET. *Kératoscopie, rétinoscopie, pupilloscopie, dioptriscopie et réfraction*. Rec. d'Ophthalm. S. 11.
3196. — *Images kératoscopiques*. Bull. et Mém. de la Soc. franç. d'Ophthalm. S. 25.
3197. GRANDCLÉMENT. *De la kératoscopie ou skiascopie*. Lyon méd. LV. S. 385.
3198. C. J. A. LEROY. *Les phénomènes de l'ombre pupillaire*. Rev. gén. d'Ophthalm. S. 289, 337 u. 440.
3199. T. MACZEWSKI. *Skiaskopija*. Kron. lekarsk. VIII. S. 400.
3200. MONOYER. *Optométrie scotoscopique*. Rev. gén. d'Ophthalm. S. 529.
3201. PARENT. *Diagnostic et détermination de l'astigmatisme*. Paris.
3202. ZIEMINSKI. *De la détermination de l'amétropie par la rétinoskiaskopie*. Bull. et mém. de la soc. franç. d'ophthalm. S. 29.

1888.

3203. S. M. BURNETT. *Skiascopy; or the „shadow“ test for the determination of the refraction of the eye*. Med. News. Philadelphia. LIII. S. 281.
3204. CERESETO. *A propos de la skiascopie (ancienne kératoscopie)*. Rec. d'Ophthalm. S. 449.
3205. CHAUVEL. *A propos de la skiascopie (ancienne kératoscopie)*. Rec. d'Ophthalm. S. 449.
3206. A. CHODIN. *Ueber Retinoskopie (Skiaskopie)*. Westnik ophthalm. V. S. 309.
3207. CHOUET. *De la skiascopie (ancienne kératoscopie)*. Rec. d'Ophthalm. S. 216 u. 344.
3208. GRANDCLÉMENT. *Encore un mot sur la kératoscopie*. Lyon méd. LVII. S. 160.
3209. LEROY. *Sur la théorie de l'ombre pupillaire; réponse à M. le Prof. Monoyer, réfutation directe de la théorie de Landolt*. Rev. gén. d'Ophthalm. S. 494.
3210. MONOYER. *Optométrie scotoscopique*. Rev. gén. d'Ophthalm. No. 7, S. 289. No. 8, S. 337.
3211. NEUSCHÜLER. *Skiaskopie e sua pratica applicazione*. Boll. d'Ocul. S. 165.
3212. SCHWARZBACH. *A new method of ophthalmoscopy*. Australian med. Gaz. Sidney. VII. S. 236.
3213. SIMI. *Keratoscopia*. Boll. d'ocul. No. 5. Firenze.

1889.

3214. S. ELIASBERG. *Die Methode von Cuignet-Parent zur objectiven Bestimmung von Refractionsanomalien*. (Russisch.) Wratsch. No. 4 u. 5.
3215. D. HASBROUCH. *Retinoscopy; the shadow test*. Journ. of Ophthalm., Otol. and Laryngol. New-York. S. 122.
3216. LANGIER. *Nouveau système pour reconnaître certaines déformations de la cornée*. Union med. S. 110.
3217. LAWRENTJEW. *Retinoskopie als bequemste Methode zur Bestimmung von Refractionsanomalien*. (Russisch.) Wojenno-Sanitarnoje Djelo. No. 16.
3218. OVERWEG. *Objective Bestimmung der Refraction des Auges durch die Skiaskopie*. Dtsche. milit.-ärztl. Zeitschr. S. 157.
3219. C. SCHWEIGGER. *Ueber Refractionsbestimmung durch die Beleuchtungsprobe*. Arch. f. Augenheilkde. XX. S. 442. — Ber. üb. d. XX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 115.
3220. H. SNELLEN. *Skiaskopie*. Nederl. Tijdschr. voor Geneesk. (2. R.) S. 153.
3221. VESZELEY. *Ueber Skiaskopie*. Wien. klin. Wochenschr. No. 52.

1890.

3222. BEAUMOUT. *The shadow-test in the diagnosis and estimation of ametropia*. London. H. K. Lewis.
3223. S. M. BURNETT. *Skiascopy*. Arch. Ophthalm. New-York. XIX. S. 260.
3224. E. JACKSON. *Retinal illumination for the shadow-test*. Ophthalm. Rev. Febr.
3225. MASSELON. *Examen fonctionnel de l'oeil*. Paris.
3226. SAAD-SAMEH. *Nouvelle étude clinique et théorique sur la photoptoscopie (ancienne kératoscopie de Cuignet) et le photomètre*. Thèse de Paris.
3227. H. WÜRDEMANN. *The use of skiascopy (the shadow-test) in determination of refractive errors*. Americ. Journ. of Ophthalm. VII. S. 137.

1891.

3228. E. BOOK. *Ueber Skiaskopie*. Vortrag, gehalten im Verein der Aerzte in Krain am 24. März. Memorabilien. Jahrg. XXXV. Heft 5. S. 257.



## 3. Photographiren des Augenhintergrundes.

1865.

3260. A. M. ROSEBRUGH. *Sur un nouvel ophthalmoscope propre à photographier le fond de l'oeil.* Ophthalm. Rev. S. 119.

1887.

3261. E. BARR. *On photographing the interior of the human eyeball.* Americ. Journ. Ophthalm. IV. S. 181.  
 3262. L. HOWE. *Photographs of the fundus of the living human eye.* Ophthalm. Rev. S. 304. — Transact. of the americ. ophthalm. soc. S. 568.  
 3263. PANEL. *D'un moyen pratique de photographier le fond de l'oeil.* Paris, Delahaye und Lecrosnier.  
 3264. A. M. ROSEBRUGH. *Photographing the retinal image impressed on the living fundus oculi.* Toronto. 8 S.

1888.

3265. H. COHN. *Ueber Photographiren des Auges.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. März. S. 65. — Ber. des VII. intern. Ophthalm. Congr. zu Heidelberg S. 209.  
 3266. S. SEGAL. *Ein Apparat zum Photographiren des Augengrundes.* Abhandl. d. med. Sect. d. Ges. d. Exper.-Wiss. a. d. Univ. zu Charkow f. d. Jahr 1888. Heft 2. S. 41.

1891.

3267. O. GERLOFF. *Ueber die Photographie des Augenhintergrundes.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Bd. 29. S. 397—404.

1892.

3268. A. E. FICK. *Einige Bemerkungen über das Photographiren des Augenhintergrundes.* Ber. über die XXI. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 197.

1893.

3269. TH. GUILLOZ, *Photographie instantanée du fond de l'oeil humain.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (N. F.) V. 10. S. 285—286. — Arch. d'Ophthalm. XIII. S. 465—480.

1894.

3270. L. HOWE. *Orthochromatic plates for photographing the interior of the human eye,* Transact. of the ophthalm. soc. of the United Kingdom. Vol. XIV. Sess. 1893/94. S. 251. London, Churchill.

## § 17.

## Von der Reizung des Sehnervenapparates.

Hinsichtlich der Litteratur über die allgemeine Lehre von den Empfindungen und der specifischen Energie der Sinnesorgane wird auf die betreffenden Zusammenstellungen in den größeren Lehr- und Handbüchern der Physiologie und Psychologie verwiesen.

## 1. Mitempfindungen.

1786.

3271. L. HOFFMANN. *Versuch einer Geschichte der malerischen Harmonie.* Halle.

1812.

3272. G. T. L. SACHS. *Historia naturalis duorum leucöthiopum auctoris ipsius et sororis ejus.* Diss. inaug. Erlangen. S. 81 ff.

1824.

3273. J. H. G. SCHLEGEL. *Neue Materialien für die Staatsarsneikunde.* Meiningen. S. 98 ff.

1843.

3274. TH. GAUTIER. *La Presse.* 10. Juillet 1843.



3300. GIRANDEAU. *De l'audition colorée*. L'Encéphale. No. 5.
3301. PFLÜGER. *Ueber Erregungen und Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke*. Tagebl. d. LVIII. Vers. dtsh. Naturf. u. Ärzte in Straßburg. S. 257.
3302. A. DE ROCHAS. *L'audition colorée*. La Nature. XIII. 1. S. 306, 406. XIII. 2. S. 274. 1886.
3303. A. SCHIELE. *Ueber Miterregungen im Bereiche homonymer Gesichtsfeldbezirke*. Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 145. 1887.
3304. A. SCHIELE. *On co-excitation in the regions of homonymous visual fields*. Englisch von H. Knapp. Arch. Ophthalm. New York. XVI. S. 317.
3305. SCHMIDT-RIMPLER. *Ueber den Einfluss peripherer Netzhautreizung auf das centrale Sehen*. Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. S. 76.
3306. H. STEINBRÜGGE. *Ueber secundäre Sinnesempfindungen*. Akademische Antrittsrede. Wiesbaden, J. F. Bergmann.
3307. URBANTSCHITSCH. *Ueber den Einfluss einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen*. Berl. klin. Wochenschr. S. 1025. 1888.
3308. BARATOUX. *L'audition colorée*. Paris, Delahaye et Lecrosnier.
3309. A. CHARPENTIER. *Influence de l'excitation d'un oeil sur l'acuité visuelle de l'autre*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 15.
3310. P. GRÜTZNER. *Ueber den Einfluss einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen*. Dtsch. med. Wochenschr. No. 44.
3311. LAURET und DUCHAUSSOY. *Un cas héréditaire d'audition colorée*. Bull. de la Soc. de psychol. physiol. III. S. 11.
3312. V. URBANTSCHITSCH. *Ueber den Einfluss einer Sinneserregung auf die übrigen Sinnesempfindungen*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XLIII. S. 3. 1889.
3313. P. ALBERTONI. *Ueber Beziehungen zwischen Farben und Tönen*. Centralbl. f. Physiol. S. 345—347.
3314. R. RAMPOLDI. *Sui rapporti fisiologici che esistono tra gli apparati della vista e dell'udito*. Ann. di Ottalm. XVIII. S. 163. 1890.
3315. F. SUAREZ DE MENDOZA. *L'audition colorée. Etude sur les fausses sensations secondaires physiologiques et particulièrement sur les pseudo-sensations des couleurs associées aux perceptions objectives des sons*. Paris. Octave Doin. 164 p. et 13 tableaux.
3316. A. J. G. WAHLSTEDT. *Zwei Fälle von Farbenhören*. Verhandl. des biologischen Vereins in Stockholm. III. 1891.
3317. A. CHAUVEAU. *Sur les sensations chromatiques excitées dans l'un des deux yeux par la lumière colorée qui éclaire la rétine de l'autre oeil*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. CXIII. S. 394—398.
3318. CH. FERÉ. *Gustation et vision colorée*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 33. S. 769.
3319. P. SOLLIER. *Gustation colorée*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 32. S. 763 bis 764. 1892.
3320. H. BEAUNIS et A. BINET. *Sur deux cas d'audition colorée*. Rev. philos. Bd. 33. S. 448—461.
3321. A. BINET. *Le problème de l'audition colorée*. Rev. des Deux Mondes. Tome 113. S. 586—614.
3322. A. BINET et PHILIPPE. *Etude sur un nouveau cas d'audition colorée*. Rev. philos. Bd. 33. S. 461—464.
3323. TH. FLOURNOY. *Enquête sur l'audition colorée*. Arch. d. Sc. physiol. et natur. Bd. 28. S. 505—508.
3324. W. O. KROHN. *Pseudo-Chromesthesia, or the association of colors with words, letters and sounds*. Americ. Journ. of Psychol. V. S. 20—41.
3325. J. MILLET. *Audition colorée*. Paris, Doin. 81 S.
3326. E. B. TITCHENER. *Ueber binoculare Wirkungen monocularer Reize*. Diss. Leipzig. 80 S. — Wundt's Philos. Stud. VIII. 2. S. 231—310.





1878.

3354. S. EXNER. *Zur Kenntniss von der Regeneration in der Netzhaut.* Pflüger's Arch. 16. S. 407. — Dtsch. Zeitschr. f. prakt. Med. No. 10.

3355. W. KÜHNE. *Beobachtung über Druckblindheit.* Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. Bd. II. S. 46—58.

1879.

3356. S. EXNER. *Weitere Untersuchungen über die Regeneration in der Netzhaut und über Druckblindheit.* Arch. f. d. ges. Physiol. XX. S. 614—626.

1881.

3357. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Ueber die spezifische Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Sitzgs-Ber. d. Ges. z. Bef. d. ges. Naturwiss. No. 4. S. 46—48.

1882.

3358. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur spezifischen Reaction der Sehnerven auf mechanische Reize.* Centralbl. f. d. med. Wiss. XX. S. 1.

1883.

3359. LANDESBURG. *Is the mechanical irritation of the optic nerve always followed by a sensation of light?* Med. Bull. Phil. 1882/83. XIII. S. 359.

1884.

3360. LANDESBURG. *Bewirkt die mechanische Reizung des Sehnervenstammes die Auslösung einer Lichtempfindung?* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 7.

1885.

3361. W. FILEHNE. *Ueber die Entstehungsart des Lichtstaubes, der Starrblindheit und der Nachbilder.* Gräfe's Arch. XXXI. (2.) 1—30.

1886.

3362. C. GÜNTHER. *Subjective Gesichterscheinung des elliptischen Lichtstreifens.* Tagebl. d. LIX. Vers. dtsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 417.

1887.

3363. C. GÜNTHER. *Ueber die subjective Gesichterscheinung der elliptischen Lichtstreifen.* Dtsch. med. Wochenschr. No. 19. S. 400.

1889.

3364. KOLLER. *Experimental Scotoma by pressure on the eyeball.* Arch. of Ophthalm. XVII. 2.

1891.

3365. J. W. PARK. *Subjective light sensations following enucleation of the eyeball.* Arch. of Ophthalm. July. — Supplement to the Brit. med. Journ. No. 1601. September 5.

3366. S. L. SSEGAL. *Ueber die Phosphene im Auge an der Berührungsstelle.* Westnik Oftalmologii. März-April.

### 3. Elektrische Reizung.

1755.

3367. LE ROY. *Mém. de Mathém. de l'Acad. de France.* S. 86—92.

1798.

3368. PFAFF. *De electricitate sic dicta animale.* Stuttgart. Diss. Deutsch in Gren's Journal der Physik. VIII. S. 252. 253.

1795.

3369. PFAFF. *Ueber thierische Electricität und Reizbarkeit.* Leipzig. S. 142.

1798.

3370. RITTER. *Beweis, daß ein beständiger Galvanismus den Lebensproceß im Thierreiche begleitet.* Weimar. S. 127.

1800.

3371. VOLTA. *Colezione dell' Opere.* II. 2. S. 124.

3372. RITTER. *Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus.* Bd. II. St. 3. 4. S. 159. 166. § 93.

1801.

3373. \*RITTER. *Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. VII. S. 448.

1805.

3374. RITTER. *Neue Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus.* Gilbert's Ann. XIX. S. 6—8.



## § 18.

## Von der Reizung durch Licht.

## 1. Blinder Fleck und Ort der lichtempfindlichen Schicht.

1668.  
3391. MARIOTTE. *Oeuvres*. S. 496—546; ferner in *Mém. de l'Acad. de Paris 1669 et 1682*, Philos. Transact. II. S. 668. Acta Eruditorum. 1683. S. 68.
1670.  
3392. PECQUET. Philos. Transact. XIII. S. 171.  
3393. PERRAULT. Philos. Transact. XIII. S. 265.
1694.  
3394. DE LA HIRE. *Accidens de la rue*.
1704.  
3395. MERY. Hist. de l'Acad. de Paris.
1709.  
3396. DE LA HIRE. *Explication de quelques faits d'optique et de la manière dont se fait la vision*. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 119.
1711.  
3397. DE LA HIRE. Hist. de l'Acad. de Paris. S. 102.
1728.  
3398. D. BERNOULLI. *Experimenta circum nervum opticum*. Comment. Petropol. vet. I. S. 314.
1738.  
3399. SMITH. *Optics*. Cambridge. Remarks. S. 6. (Dtsch. Ausg. S. 367.)
1740.  
3400. LE CAT. *Traité des sens*. Rouen. S. 171, 176—180.
1755.  
3401. ZINN. *Descriptio oculi humani*. S. 37.
1757.  
3402. A. HALLER. *Physiologia*. V. S. 357, 474.
1759.  
3403. PORTERFIELD. *On the eye*. II. S. 252, 254.
1772.  
3404. MICHELL. *Priestley's Geschichte der Optik*. 4. Per. 5. Abth. 2. Kap. (Dtsch. Ausg. S. 149.)
1819.  
3405. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche*. I. S. 70 u. 83.
1835.  
3406. D. BREWSTER. Pogg. Ann. XXIX. S. 339.  
3407. G. R. TREVIRANUS. *Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens*. Bremen.
1838.  
3408. GRIFFIN. *Contributions to the physiology of vision*. London med. gaz. Mai. S. 230.
1840.  
3409. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie*. II. S. 370.
1844.  
3410. VALENTIN. *Lehrbuch der Physiologie*. 1. Ausg. II. S. 444.
1846.  
3411. A. W. VOLKMANN. Art.: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 272.
1850.  
3412. A. HANNOVER. *Bidrag til Odets Anatomie, Physiologie og Pathologie*. Kjöbenhavn. VI. S. 61.
1851.  
3413. H. HELMHOLTZ. *Beschreibung eines Augenspiegels*. Berlin. S. 39.



1871.

3439. W. DOBROWOLSKY. *Ueber den Abstand zwischen Fovea centralis und dem Centrum des blinden Fleckes in Augen von verschiedener Refraction.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 437—453.
3440. DUBBUNFAUT. *Sur quelques particularités des perceptions visuelles objectives et subjectives.* Mondes XXVI. S. 77. — Compt. Rend. Bd. 73. S. 752.
3441. — *Vision.* Institut S. 102.
3442. E. LANDOLT. *Die directe Entfernung zwischen Macula lutea und Nervus opticus.* Med. Centralbl. 45.

1872.

3443. E. LANDOLT. *La distanza diretta tra la macula lutea e la papilla del nervo ottico.* Giorn. d'ottalmologia del Prof. Quaglino. II. 1. S. 1.

1888.

3444. S. EXNER. *Die mangelhafte Erregbarkeit der Netzhaut für Licht von abnormer Einfallsrichtung.* Wien. Akad. Ber. 88. III. Heft. — Exner's Rep. d. Physik. S. 233—237.
3445. STRICKER. *Ueber die lichtempfindenden Apparate der Retina.* Sitzg. d. k. k. Ges. d. Aerzte in Wien. 30. März 1883. Wien. Med. Presse, No. 14.

1884.

3446. W. DOBROWOLSKY. *Ueber den Unterschied in der Farbenempfindung bei Reizung der Netzhaut an einer und an mehreren Stellen zu gleicher Zeit.* Pflüg. Arch. f. Physiol. XXXV. S. 537—541. — St. Petersburg. med. Woch.-Schr. S. 398.

1885.

3447. SCHLEICH. *Untersuchungen über die Grösse des blinden Fleckes und seine räumlichen Beziehungen zum Fixationspunkte.* Mitth. a. d. ophthalm. Klin. in Tübingen. II. S. 181.

1886.

3448. S. EXNER. *Ueber die Functionsweise der Netzhautperipherie und den Sitz der Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophth. XXXII (1). S. 233—252.

1890.

3449. V. BASEVI. *Ueber die directe Entfernung der negativen physiologischen Scotome von dem Fixirpunkt und dem Mariotte'schen Fleck.* Arch. f. Augenheilkde. XXXII. S. 1—10.

1892.

3450. M. BOTTO. *Recherches sur la position et l'étendue de la tache de Mariotte dans les yeux myopes.* Actes du congr. ophthalm. de Palermo. — Ann. d'ophthalm. XXII. 1.

1893.

3451. M. BOTTO. *Ricerche sulla posizione ed estensione della regione cieca dell Mariotte negli occhi miopi.* Ann. di Ottalm. XXII. S. 42.

1894.

3452. J. GAD. *Der Energieumsatz in der Retina.* du Bois' Arch. f. Physiol. S. 491—503.
3453. A. KÖNIG u. J. ZUMPT. *Ueber die lichtempfindliche Schicht in der Netzhaut des menschlichen Auges.* Sitzgs. Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 439—442.

## 2. Vorgänge in der Netzhaut und in dem Sehnerven bei einfallendem Lichte. — Sehpurpur.

1865.

3454. FB. HOLMGREN. *Methode, um die Wirkung von Lichteindrücken auf die Retina objektiv kenntlich zu machen.* Upsala Läkaref. Förh. I. S. 177—191.

1870.

3455. V. BRAVAIS. *Du rôle de la choroïde dans la vision.* Acad. imp. de Méd. 4. Jan. Gaz. des hôp. S. 6.

1871.

3456. F. HOLMGREN. *Om retinaströmmen. (Ueber die Retinaströme.)* Upsala Läkaref. Förh. VI. S. 419—455.

1872.

3457. S. EXNER. *Ueber den Erregungsvorgang im Sehnervenapparat.* Wien. acad. Ber. 65. (3) S. 59—70.



0. W. KÜHNE. *Das Sehen ohne Sehpurpur*. Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 119—138.
1. — *Les colorations de la rétine et la photographie dans l'oeil*. Rev. Scient. VI. (2.) S. 841—845.
2. — *Zur Photochemie der Netzhaut*. Heidelberg, C. Winter. — Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 1—15.
3. — *Optographische Untersuchungen*. Centralbl. f. d. med. Wiss. 20. u. 27. Jan.
4. — *Ueber die Darstellung von Optogrammen im Froschauge*. Unters. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I. S. 225—241.
5. W. KÜHNE u. A. EWALD. *Ueber künstliche Bildung des Sehpurpurs*. Med. Centralbl. XV. S. 753.
6. F. LEYDIG. *Die Farbe der Retina und das Leuchten der Augen*. Arch. f. Naturg. XLIII. S. 121—126.
7. J. MICHEL. *Zur Kenntniß des Schroths*. Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 432.
8. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Schroth bei einem Amaurotischen und Bemerkungen über die ophthalmoskopische Farbe der Macula und des Augenhintergrundes*. Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 400—401.
9. — *Zur Lichtempfindung an der Stelle des congenitalen Choroideal-Colombom*. Gräfe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. (4.) S. 176—179.
0. J. SCHNABEL. *Notiz zur Lehre vom Sehpurpur*. Wien. med. Wochenschr. S. 258—259.
1. *Sur la coloration rouge de la rétine*. Ann. d'Oculist. LXXVII. S. 77—81; 202—211.
2. *Coloration pourprée de la rétine d'après Messrs. Boll et Kühne*. Journ. de l'anat. et de physiol. XIII. S. 313—320.

## 1878.

3. AYRES u. KÜHNE. *Ueber Regeneration des Sehpurpurs*. Unters. a. d. physiol. Inst. zu Heidelberg. II. S. 215—240.
4. S. EXNER. *Zur Kenntniß von der Regeneration in der Netzhaut*. Pflüg. Arch. XVI. S. 407.
5. GIRAUD-TEULON. *Fixation des images sur la rétine et pourpre rétinien*. Bull. de l'Acad. de méd. No. 32. — Arch. génér. Oct.
6. — *Sur la persistance des images sur la rétine. Rapport concernant les expériences relatives au pourpre de la rétine*. Mondes 2. Sér. XLVI. S. 707.
7. G. HALTENHOFF. *Resumé des travaux publiés sur le pourpre visuel*. Arch. d. Sc. physiol. et natur. de Genève. LXI.
8. V. HENSEN. *Ueber Sehpurpur bei Mollusken*. Zool. Anz. I. No. 2. S. 30.
9. HJORT. *Ueber den Sehpurpur*. Norsk Mag. 3 B. VIII. 1. Forh. S. 205.
0. F. HOLMGREN. *Ueber Sehpurpur und Retinaströme*. Heidelb. physiol. Unters. II. Heft 1.
1. — *Ueber Sehpurpur und Retinaströme*. Upsala Läkaref. Förh. S. 666—673.
2. W. KÜHNE. *Fortgesetzte Untersuchungen über die Retina und die Pigmente des Auges*. Heidelb. Unters. II. S. 89—105 und S. 105—133.
3. — *Beobachtungen an der frischen Netzhaut des Menschen*. Heidelb. Unters. II. S. 69—80.
4. — *On the Photochemistry of the Retina and on visual Purple*. Aus d. Deutschen übers. von FOERSTER. London, Macmillan & Co.
5. — *Notizen zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut. (Macula lutea und fovea centralis.)* Heidelb. physiol. Unters. II. S. 378—384.
6. — *Sur le pourpre visuel*. Uebers. von DUFOUR. Ann. d'Oculist. Bd. 79. S. 32—46.
7. — *Addition to the Article: „On the Stable Colours of the Retina.“* Journ. of Physiol. I. (2.) S. 189—192.
8. — *Nachträge zu den Abhandlungen über den Sehpurpur*. Heidelb. physiol. Unters. I. S. 455—470.
9. — *Notiz über die Netzhaut der Eule*. Heidelb. physiol. Unters. II. S. 257—259.
0. — *Zur Abwehr einiger Irrthümer über das Verhalten des Sehpurpurs*. Heidelb. physiol. Unters. II. S. 254—257.
1. W. KÜHNE u. W. C. AYRES. *Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut*. Heidelb. physiol. Unters. I. S. 341—369. — Englisch von Dr. AYRES in Journ. of Physiol. I. (2.) 109—130.
2. F. W. KRUKENBERG. *Der Stäbchenpurpur des Cephalopodenauges*. Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univ. Heidelberg. I.
3. — *Ueber die Stäbchenfarbe der Cephalopoden*. Heidelb. Unters. II. S. 58—61.
4. MASOIN. *L'oeil comme appareil photographique*. Louvain.
5. TIXIER. *Ueber Fixirung von Bildern auf der Netzhaut*. Bull. de l'Acad. August.

















1882.

3724. A. CHARPENTIER. *Recherches sur la distinction des points lumineux*. Arch. d'ophthalm. S. 382.  
 3725. v. FLEISCHL. *Physiologisch-optische Notizen*. IV. Mittheilung. Sitzg. vom 9. Juni. Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. LXXXVI. 3. Abth.  
 3726. E. JÄGER. *Schrift-Scalen*. 7. Aufl. Wien.  
 3727. LEROY. *Vision centrale, irradiation et acuité visuelle*. Arch. d'ophthalm. Jan., Febr. u. Juli-Aug.  
 3728. G. MAYERHAUSEN. *Zifferntafeln zur Bestimmung der Sehschärfe nach der Snellen'schen Formel*. Berlin, Peters.  
 3729. A. NIEDEN. *Schriftproben*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 89.

1883.

3730. G. BECKER. *Ueber excentrische Sehschärfe und ihre Abgrenzung von der centrischen*. Diss. Halle. Wiesbaden, Bergmann.  
 3731. J. BJERRUM. *Untersuchungen über den Formen- und Lichtsinn*. Diss. Kopenhagen  
 3732. BRAILEY. *On the tests of vision best adapted for service at sea*. Trans. Ophthalm Soc. U. K. II. S. 184.  
 3733. BURCHARDT. *Internationale Sehproben zur Bestimmung der Sehschärfe und Sehweite* 3. Aufl. Kassel.  
 3734. R. BUTZ. *Untersuchungen über die physiologischen Functionen der Peripherie der Netzhaut*. Diss. Dorpat.  
 3735. A. CHARPENTIER. *La perception des couleurs et la perception de formes*. Compt. Rend. Bd. 96. S. 858 u. 1079.  
 3736. E. v. FLEISCHL. *Die Vertheilung der Sehnervenfaseru über die Zapfen der menschlichen Netzhaut*. Wien. Sitzgs.-Ber. Bd. 87. Abth. 8.  
 3737. — *Zur Anatomie und Physiologie der Retina*. Biol. Centralbl. III. S. 309 u. 331.  
 3738. GALBRZOWSKI. *Échelles optométriques et chromatiques pour mesurer l'acuité de la vision, les limites du champ visuel et la faculté chromatique*. Paris.  
 3739. R. HILBERT. *Ueber das excentrische Sehen*. Physik.-ökon. Ges. zu Königsberg. Bd. 24.  
 3740. A. NIEDEN. *Schriftproben zur Bestimmung der Sehschärfe*. 2. Aufl. Wiesbaden.  
 3741. PFLÜGER. *Optotypi*. Ber. d. Berner Univ.-Augenkl. S. 75.  
 3742. SASKEWITSCH. *Einige Fälle außerordentlicher Sehschärfe*. Wratsch. No. 1.  
 3743. SCHADOW. *Die Augen der Schulkinder Borkums*. Klin. Mon.-Bl. f. Augenheilkde. S. 150.  
 3744. A. SCHAPFINGER. *An improvement in the arrangement of Snellen's test-types*. Med. Rec. New-York. XXIII. 3. S. 73.  
 3745. SEGGER. *Ueber die Augen der Feuerländer und das Sehen der Naturvölker im Verhältniß zu dem der Culturvölker*. Arch. f. Anthrop. XIV. S. 3.

1884.

3746. J. BJERRUM. *Untersuchungen über den Lichtsinn und den Raumsinn bei verschiedenen Augenkrankheiten*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 201.  
 3747. A. CHARPENTIER. *Recherches sur la distinction des points noirs sur fond blanc*. Arch. d'Ophthalm. S. 193.  
 3748. E. v. FLEISCHL. *Zur Physiologie der Retina*. Wien. med. Wochenschr. No. 10 u. 11.  
 3749. M. DE LÉPINAY und NICATI. *De l'acuité visuelle binoculaire*. Bull. de la Soc. franç. d'ophthalm. S. 56.  
 3750. R. MADDOX. *On distant vision*. Proc. of the Royal Soc. of London. 21. Januar. XII. S. 433.  
 3751. G. MAYERHAUSEN. *Ueber eine subjective Erscheinung bei Betrachtung von Contouren*. Graefe's Arch. XXX. (2.) S. 191—200.  
 3752. E. PFLÜGER. *Optotypi (Sehproben)*. Bern., Dalp.  
 3753. SEGGER. *Ueber normale Sehschärfe und die Beziehungen der Sehschärfe zur Refraction*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXX. (2.) S. 69—140.

1885.

3754. ALBINI. *Tavole ottimetriche*. Neapel, Detken.  
 3755. J. RAND CAPRON. *Civilisation and Eyesight*. Nature. XXXI. S. 359.  
 3756. B. CARTER. *Acuteness of vision*. Med. Tim. and Gaz. I. S. 461.  
 3757. B. B. CARTER u. G. A. BERRY. *Civilisation and Eyesight*. Nature. XXXI. S. 386 bis 388.  
 3758. J. W. CLARK. *Civilisation and Eyesight*. Nature. XXXI. S. 433—434.









## § 19.

## Die einfachen Farben.

Es gehört hierher auch ein Theil der Litteratur von § 20.

## 1. Aeltere Litteratur (bis Newton).

884—822 v. Ch.

3846. ARISTOTELES. *De coloribus*.  
1571.  
3847. JOH. FLEISCHER. *De iridibus doctrina Aristotelis et Vitellionis*. Vitembergae. S. 86.  
1588.  
3848. JO. BAPT. PORTA. *De refractione libri novem*. Napoli. Lib. IX.  
1590.  
3849. BERNARDINI TELESII *Opera*. Venetiis. *De Iride et coloribus*.  
1611.  
3850. M. ANTONIUS DE DOMINIS. *De radiis visus et lucis in vitris perspectivis et Iride*. Venetiis.  
1618.  
3851. F. MAUEHOLYOUS. *De lumine et umbra*. Lugd. S. 57.  
1637.  
3852. CARTESIUS. *De meteoris*. Cap. VIII.  
1646.  
3853. A. KIRCHER. *Ars magna lucis et umbrae*. Romae.  
1648.  
3854. JO. MARCUS MARCI *Thaumantias, liber de arcu coelesti, deque colorum apparentium natura, ortu et caussis*. Pragae.  
1662.  
3855. J. VOSSIUS. *De lucis natura et proprietate*. Amstelodami.  
1665.  
3856. R. HOOKE. *Micrographia*. London. S. 64.  
1670.  
3857. BOYLE. *Experiments and considerations touching color*. London.

## 2. Newton und Göthe.

1672.

3858. J. NEWTON. *New theory of light and colours*. Philos. Transact.  
3859. — *Some experiments proposed in relation to the new theory light*. Philos. Transact.  
3860. — *Answer to the animadversions of Mr. J. G. Pardies. On the new theory of light*. Philos. Transact.  
3861. — *A series of queries proposed to be determined by experiments positively and directly including the new theory of light and colours*. Philos. Transact.  
3862. — *Second answer to Mr. Pardies*. Philos. Transact.  
3863. — *Answer to some considerations of the doctrine of light and colours*. Philos. Transact.  
3864. J. G. PARDIES. *Two letters containing some animadversions upon J. Newton's theory of light*. Philos. Transact.

1673.

3865. J. NEWTON. *Answer to a letter from Paris, further explaining the theory of light and colours and particular that of whiteness*. Philos. Transact.  
3866. — *On the number of colours and the necessity of mixing them all for the production of white*. Philos. Transact.

1675.

3867. J. NEWTON. *Considerations on the reply of Mr. Linus; together with further directions how to make the experiments controverted to right*. Philos. Transact.







1881.

8939. D. BREWSTER. *Description of a monochromatic lamp with remarks on the absorption of the Prismatic Rays*. Edinb. Trans. IX. (2.) S. 483.  
 8940. — *On a new Analysis of Solar Light*. Edinb. Trans. XII. (1.) S. 123. — Pogg. Ann. XXIII. S. 496.

1884.

8941. EXLEY. *Physical optics or the phenomena of optics*. London.

1847.

8942. G. B. AIRY. Philos. Mag. XXX. (3.) S. 73. — Pogg. Ann. LXXI. S. 393.  
 8943. D. BREWSTER. *Reply*. Philos. Mag. XXX. S. 153.  
 8944. J. W. DRAPER. Silliman Journ. IV. S. 388. — Philos. Mag. XXX. S. 345.  
 8945. D. BREWSTER. Philos. Mag. XXX. S. 461.  
 8946. MELLONI. Bibl. univ. de Genève. Août. — Philos. Mag. XXXII. S. 262. — Pogg. Ann. LXXV. S. 62.  
 8947. D. BREWSTER. Philos. Mag. XXXII. S. 489.

1852.

8948. H. HELMHOLTZ. *Ueber Herr D. Brewster's neue Analyse des Sonnenlichts*. Pogg. Ann. LXXXVI. S. 501. — Philos. Mag. VI. (4.) — Berl. Monatsber. 15. Juli 1852. S. 458—461.  
 8949. F. BERNARD. *Thèse sur l'absorption de la lumière par les milieux non cristallisés*. Ann. de Chim. (3.) XXXV. S. 385—438.

1855.

8950. D. BREWSTER. *On the triple spectrum*. Athen. S. 1156. — Inst. S. 381. — Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 7—9.

#### 4. Nuancenunterschiede und Grenzen des Spectrums.

1845.

8951. E. BRÜCKE. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Licht- und Wärmestrahlen*. Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 262. — Pogg. Ann. LXV. S. 593.

1846.

8952. E. BRÜCKE. *Ueber das Verhalten der optischen Medien der Augen gegen Sonnenstrahlen*. Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 379. — Pogg. Ann. LXIX. S. 549.

1852.

8953. A. CIMA. *Sul potere degli umori dell' occhio a trasmettere il calorico raggianti*. Torino.

1853.

8954. F. C. DONDERS. *Ueber das Verhalten der unsichtbaren Lichtstrahlen von hoher Brechbarkeit in den Medien des Auges*. Müllers Arch. S. 459. — Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. VI. S. 1.

1854.

8955. F. C. DONDERS. *Over de verhouding der onzichtbare stralen van sterke breekbaarheid tot de vochten van het oog*. Ned. Lancet. S. 1.

8956. G. KESSLER. Gräfes Arch. f. Ophthalm. I. Abth. 1. S. 466.

1855.

8957. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts*. Pogg. Ann. XCIV. S. 205. — Ann. de Chim. (3.) XLIV. S. 74. — Arch. d. sc. phys. XXIX. 211. S. 243.

1856.

8958. G. WILSON. *On the transmission of actinic rays of light through the eye and their relation to the yellow spot of the retina*. Proc. of Edinb. Soc. III. S. 371—375. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 147—149.

1858.

8959. J. REGNAULD. *Fluorescence des milieux de l'oeil*. Inst. S. 410.

1859.

8960. J. SETSCHENOW. *Ueber die Fluoreszenz der durchsichtigen Augenmedien*. Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 205—209.

1860.

8961. J. REGNAULD. *Étude sur la fluorescence des milieux transparents de l'oeil*. Cosmos. XVI. S. 88—90. Journ. de Pharm. (3.) XXXVII. S. 104—111.









**Der Farbensinn bei Thieren und verschiedenen Völkerstämmen. — Die historische und individuelle Entwicklung des Farbensinnes.**

1810.

2. BÖTTIGER. *Die aldobrandinische Hochzeit*. Dresden. S. 128.

1836.

3. WIEGMANN. *Die Malerei der Alten in ihrer Anwendung und Technik*. Hannover. S. 210.

1858.

4. W. E. GLADSTONE. *Studies on Homer and the Homeric age*. Vol. III. § 4. Oxford.

1861.

5. F. DIETERICI. *Die Naturbeschreibung und Naturphilosophie der Araber im zehnten Jahrhundert*. S. 85.

1867.

6. L. GEIGER. *Ueber den Farbensinn der Vorzeit und seine Entwicklung*. Tagebl. d. dtsh. Naturf. u. Aerzte. Anh. S. 51—57.

7. — *Ueber den Farbensinn im Alterthum*.

1869.

8. P. BERT. *Sur la visibilité des divers rayons du spectre pour les animaux*. Mon. Scient. S. 827. — Compt. Rend. Bd. 69. S. 363.

1871.

9. L. GEIGER. *Ueber den Farbensinn der Urzeit und seine Entwicklung*. Stuttgart.

0. — *Zur Entwicklungsgeschichte der Menschheit*. Cap. 3. Stuttgart.

1876.

1. W. JORDAN. *Die Farben bei Homeros*. Jahrb. f. klass. Philolog. CXIII.

1877.

2. E. JAVAL. *De l'évolution dans le sens de la vue*. Gaz. hebdom. S. 463. — Gaz. d. Hôpit. S. 678.

3. W. E. GLADSTONE. *The colour sense*. Nineteenth Century, Oct.

4. H. MAGNUS. *Die geschichtl. Entwicklung des Farbensinnes*. Leipzig, Günther. 56 S. — Kosmos. Bd. 1.

5. — *Die Entwicklung des Farbensinnes*. Jena. 22 S.

6. H. SCHMIDT. *Ueber die allmähliche Entwicklung des sinnlichen Unterscheidungsvermögens der Menschheit*. Berlin. 29 S.

7. R. SMITH. Nature. 6. Dec. 1877.

8. A. R. WALLACE. *Colour in animals and plants*. Macmillan's Mag. Oct.

1878.

9. G. ALLEN. *The colour-sense its origin and development*. Mind. Jan. 1878.

0. ANDRÉE. *Ueber den Farbensinn der Naturvölker*. Zeitschr. f. Ethnolog. Jahrg. X.

1. BLACKIE. *On Gladstone's theory of colour-sense in Homer*. Proc. Roy. Soc. Edinb. 1877—1878. S. 533.

2. F. BOLL. *La evoluzione dei Colori*. La rassegna settimanale di politica, scienze, lettere ed arti. Vol. 2. No. 9.

3. H. COHN. *Ueber Contrastfarbenempfindung und die Unwahrscheinlichkeit ihrer Entstehung in historischer Zeit*. Allg. med. Centralzeitg. S. 399.

4. DELITZSCH. *Der Talmud und die Farben*. Nord u. Süd. XII. S. 254—267.

5. DOB. *De l'évolution historique du sens des couleurs*. Paris, Masson. 19 S.

6. — *Zur geschichtlichen Entwicklung des Farbensinnes*. Ber. üb. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 120—129. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. Beil. z. Augusthft.

7. W. E. GLADSTONE. *Der Farbensinn mit besonderer Berücksichtigung der Farbenkenntniß des Homer*. Breslau, Kern. 47 S.

8. GÜNTHER. *Der Farbensinn des menschlichen Auges in seiner geschichtlichen Entwicklung*. Augsburger Allgem. Ztg. Beil. No. 62.

9. E. HÄCKEL. *Ursprung und Entwicklung der Sinneswerkzeuge*. Kosmos. November.

0. S. KALISCHER. *Zur Ausbildung der menschlichen Sinne*. Gegenwart. No. 38

1. E. KRAUSE. *Die geschichtliche Entwicklung des Farbensinnes*. Kosmos. I. S. 264—275 u. S. 248.

2. LÖW. *Ueber die Farbenbezeichnungen in den Indianersprachen*. Sitzgs.-Ber. d. Münch. Anthropol. Ges.







1886.

4163. A. FOREL. *Les fourmis perçoivent-elles l'ultraviolet avec leurs yeux ou avec leur peau?* Compt. Rend. de la soc. helvét. des scienc. nat. S. 128.  
 4164. H. DE VARIGNY. *Le développement des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.

1887.

4165. A. FLINKER. *Ueber den Farbensinn der Thiere.* Wien. med. Wochenschr. No. 9.  
 4166. HANDL. *Ueber den Farbensinn der Thiere und die Vertheilung der Energie im Spectrum.* Sitzgs.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. XCIV. 2. Abth. S. 935.

1888.

4167. DENEFFE. *De la perfectibilité du sens chromatique dans l'espèce humaine.* Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belg. (4.) II.  
 4168. G. POUCHET. *La prétendue évolution du sens des couleurs.* Rev. Scient. S. 464.

1889.

4169. G. ALBERTOTTI. *Osservazioni sopra dipinti per rilevare alterazioni nella funzione visiva degli artisti.* Modena.  
 4170. L. J. BLAKE u. W. S. FRANKLIN. *Colour-blindness a product of civilization.* Science. XIII. S. 170.  
 4171. A. M. FIELDE. *Color-sense and color-blindness among the Chinese.* Med. and. Surg. Rep. Philad. S. 651.

1890.

4172. A. M. FIELDE. *Colour - sense and colour - blindness among the Chinese.* China med. Miss. Journ. Shanghai. IV. S. 61.  
 4173. H. K. WOLFE. *The color-vocabulary of children.* Univ. Studies Nebraska III.  
 4174. *Colour-Sense among the Chinese.* China med. Miss. Journ. — New-York med. Journ. LII. No. 8. S. 214.  
 4175. *Colour vision; defective in the mercantile marine.* Brit. med. Journ. No. 1560. S. 1215

1892.

4176. H. BLÜMNER. *Die Farbenbezeichnungen bei den römischen Dichtern.* Berl. Stud. f. klass. Philol. u. Archäol. Bd. 13. Hft. 3. Berlin, S. Calvary & Co. 231 S.

1894.

4177. A. ANGELUCCI. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull'impiego del colore in pittura.* Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69.  
 4178. GARBINI. *Evolution du sens des couleurs dans l'enfance.* Arch. per l'antropol. e la etnolog. XXIV. (1.)  
 4179. W. A. NAGEL. *Beobachtungen über den Lichtsinn augenloser Muscheln.* Biol. Centralbl. XIV. S. 385.  
 4180. — *Ein Beitrag zur Kenntnis des Lichtsinns augenloser Thiere.* Biol. Centralbl. XVI. S. 810—813.

## § 20.

## Die zusammengesetzten Farben.

Es gehört hierhin auch ein Theil der Litteratur von § 19.

### 1. Aeltere Litteratur über normales Farbensehen und über Farbentheorien.

1519.

4181. LEONARDO DA VINCI. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

1686.

4182. R. WALLER. *A catalogue of simple and mixte colours.* Philos. Trans.

1704.

4183. J. NEWTON. *Optice.* Lib. I. P. II. Prop. IV—VI.

1735.

4184. J. C. LE BLOND. *Il Colorito.* London.





4209. CHR. DOPPLER. *Versuch einer systematischen Classification der Farben*. Prag. — *Abh. d. böhm. Ges.* V. S. 401.  
1849.
4210. J. D. FORBES. *Hints towards a classification of colours*. *Philos. Mag.* XXXIV. S. 161.  
1851.
4211. E. BRÜCKE. *Untersuchungen über subjective Farben*. *Denkschr. d. math.-naturw. Klasse d. Wien. Acad.* III.  
1852.
4212. \*H. HELMHOLTZ. *Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben*. *Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol.* S. 461—482. *Pogg. Ann.* LXXXVII. S. 45—66. *Philos. Mag.* (4.) IV. S. 519—534. *Cosmos.* II. S. 112—120. *Ann. de chim.* (3.) XXXVI. S. 500—508. *Fechner's Centralbl.* 1853. S. 3—9.
4213. ZIEGLER. *Traité de la couleur et de la lumière*.  
1853.
4214. L. FOUCAULT. *Sur la récomposition des couleurs du spectre en teintes plates*. *Cosmos.* II. S. 282. *Pogg. Ann.* LXXXVIII. S. 385—387.
4215. \*H. GRASSMANN. *Zur Theorie der Farbenmischung*. *Pogg. Ann.* LXXXIX. S. 69—84. *Philos. Mag.* (4.) VII. S. 254—264.
4216. HOLTZMANN. *Apparat zur Darstellung von Farbenmischungen*. *Tagebl. d. dtsh. Naturforscherversammlung*.
4217. J. PLATEAU's *Reclamation*. *Pogg. Ann.* LXXXVIII. S. 172—173. *Cosmos.* II. S. 241. *Fechner. Centralbl.* S. 365.
4218. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Zusammensetzung der Spektralfarben*. *Pogg. Ann.* XCIV. S. 1—28. *Athen.* S. 1197—1198. *Cosmos.* III. S. 573—575. *Rep. of Brit. Assoc.* 2. S. 5. *Ann. de chim.* (3.) XLIV. S. 70—74. *Arch. d. sc. phys.* XXIX. S. 242.  
1854.
4219. J. GRAILICH. *Beitrag zur Theorie der gemischten Farben*. *Wien. Ber.* XII. S. 783 bis 847. XIII. S. 201—284.
4220. J. CZERMAK. *Physiologische Studien*. *Wien. Ber.* XII. S. 322. § 6 u. XVII. S. 565.
4221. A. SCHOPENHAUER. *Ueber das Sehen und die Farben*. 2. Aufl. Leipzig.  
1855.
4222. \*J. C. MAXWELL. *Experiments on colour, perceived by the eye, with remarks on colour blindness*. *Edinb. Trans.* XXI. S. 275—297. *Edinb. Journ.* (2.) I. S. 359—360. *Proc. of Edinb. Soc.* III. S. 299—301. *Philos. Mag.* (4.) XIV. S. 40.
4223. G. WILSON. *Observations on Mr. Maxwell's paper*. *Edinb. Journ.* (2.) I. S. 361.
4224. J. D. FORBES. *Observations on Mr. Maxwell's paper*. *Edinb. Journ.* (2.) I. S. 362.
4225. T. v. DOESBURGH. *Over kleurmenging en kleurmeting*. Utrecht.
4226. — *De colorum mixtione et dimensione*. *Inaug.-Diss.* Utrecht.  
1856.
4227. H. CZOLBE. *Vertheidigung des Euler'schen Begriffes der Farben*. *Das Jahrhundert.* No. 4. S. 86—96.
4228. J. C. MAXWELL. *On the theory of compound colours with reference to mixtures of blue and yellow light*. *Athen.* S. 1093. *Edinb. Journ.* (2.) IV. S. 335—337. *Inst.* S. 444. *Rep. of British Assoc.* 2. S. 12—13.
4229. CHALLIS. *On theory of the composition of colours on the hypothesis of undulations*. *Philos. Mag.* (4.) XII. S. 329—338 u. 521.
4230. G. G. STOKES. *Remarks on Challis' paper*. *Philos. Mag.* (4.) XII. S. 421.  
1857.
4231. H. W. DOVE. *Eine Methode, Interferenz- und Absorptionsfarben zu mischen*. *Berl. Monatsber.* 11. März. — *Pogg. Ann.* CII.
4232. H. CZOLBE. *Euler's Begriff der Farben als nothwendiger Hebel, die Schranke der Kant'schen Erkenntnistheorie zu durchbrechen*. *Das Jahrhundert.* S. 387—392, 411—416, 437—440, 458—464.

## 2. Aeltere Litteratur über Farbenblindheit.

1684.

4233. D. TUBERVILLE. *Several remarkable cases in physick, relating chiefly to the eyes*. *Philos. Trans.* No. 164. S. 736—738. Aug. 4. 1684. — *Lowthrop's Abridgement.* Vol. III. part. 1. p. 40.



4310. O. N. ROOD. *Students' text book of colour*. New-York.
4311. — *Théorie scientifique des couleurs et leurs applications à l'art et à l'industrie*. Paris, Germer-Baillière.
4312. VOLKELT. *Die Farben und die Seele*. Zeitschr. f. Philos. u. philos. Kritik. Bd. 79. Heft 1.  
1882.
4313. HÄUSELMANN. *Populäre Farbenlehre*. Zürich.
4314. J. v. KRIES. *Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse*. Leipzig. Zugleich Supplementheft zu Du Bois' Arch.
4315. SOUBY. *Le sens des couleurs*. Philosophie naturelle. Paris, chap. VI.  
1888.
4316. TH. PETRUSCHEFFSKY. *Licht und Farbe an und für sich und in ihrem Verhältniß zur Malerei*. St. Petersburg. Selbstverlag. 108 S.
4317. M. SCHASLER. *Die Farbenwelt*. Berlin, Samml. gemeinverst. wiss. Votr. von Virchow u. v. Holtzendorff. Heft 409, 410 u. 415.  
1887.
4318. E. BRÜCKE. *Die Physiologie der Farben für die Zwecke der Kunstgewerbe*. 2. Aufl. Leipzig, S. Hirzel. 309 S.  
1891.
4319. A. v. WOUVERMANS. *Farbenlehre. Für die practische Anwendung in den verschiedenen Gewerben und in der Kunstindustrie bearbeitet*. 2. Aufl. Wien, Pest und Leipzig, A. Hartleben. 196 S.  
1892.
4320. E. HUNT. *Colour Vision*. Glasgow, John Smith & Son. 3 plates and 122 pages.  
1893.
4321. GUAITA. *Die Wissenschaft der Farben und die Malerei*. (Italienisch.) Mailand.  
1894.
4322. L. MAUTHNER. *Farbenlehre*. 2. Aufl. Wiesbaden, J. F. Bergmann. 168 S.

### b) Specielles über normales und anomales Farbensehen.

Soweit es nach den Titelangaben möglich war, sind die Abhandlungen, welche die folgenden Abschnitte c), d), e), f), g) und h) betreffen hier fortgelassen und dort aufgeführt. Es unterliegt aber keinem Zweifel, daß hier unter b) noch manches eigentlich dorthin Gehörige enthalten ist. Eine große Anzahl von Abhandlungen betrifft gleichzeitig mehrere jener Specialgebiete.

- 1857.
4323. LEMBERT. *Pseudochromie*. Ann. d'Ocul. XXXVIII. S. 275.  
1858.
4324. A. v. BAUMGARTNER. *Ein Fall ungleichzeitiger Wiederkehr für verschiedene Farben*. Wien. Ber. XXIX. S. 257—258.
4325. CLEMENS. *Farbenblindheit während der Schwangerschaft, nebst einigen zeitgemäßen Erörterungen über Farbenblindheit und deren Ursache*. Arch. f. physiol. Heilkde. (n. F.) II. S. 41—59.  
1859.
4326. H. HELMHOLTZ. *Ueber Farbenblindheit*. Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg. 11. Nov. 1859. Bd. II. S. 1—3.
4327. J. F. W. HERSCHEL. *Remarks on colour blindness*. Proc. of Roy. Soc. X. S. 72—84. Philos. Mag. (4.) XIX. S. 148—158.
4328. W. POLE. *On colour blindness*. Philos. Transact. CXLIX. S. 323—339. — Ann. de chim. (3.) LXIII. S. 243—256.
4329. C. MANBY. *On colour blindness*. London.
4330. J. SMITH. *On the cause of colour and the theory of light*. Rep. of Brit. Assoc. (2.) S. 22—23. Proc. of Manchester Philos. Soc. 1859—1860. S. 147—149. — Athen. (2.) S. 434.  
1860.
4331. CLEMENS. *Daltonisme non-congénital*. Gaz. des Hôp. S. 180. — Ann. d'Oculist. XLIII. S. 185.
4332. J. J. OPPEL. *Einige Beobachtungen und Versuche über partielle Farbenblindheit*. Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 70—114.



4361. V. HENSEN. *Ueber das Sehen in der Fovea centralis*. Virchow's Arch. XXXIX. S. 475.  
 4362. J. NICKLÉS. *Physiological effects of the monochromatic flame*. Silliman's Journ. (2.) XLIII. S. 93—94.

1868.

4363. GALEZOWSKI. *Du diagnostic des maladies des yeux par la chromatoscopie rétinienne, précédé d'une étude sur les lois physiques et physiologiques des couleurs*. Paris.  
 4364. NIEMETSCHKE. *Ueber Farbenblindheit*. Prag. Vierteljahrsschr. 25. Jahrg. IV. S. 224—238.  
 4365. ZÖLLNER. *Ueber Farbenbestimmung der Gestirne*. Pogg. Ann. Bd. 135. S. 59.

1869.

4366. W. BENSON. *Contrast and admixture of colours*. Scient. Am. XX. S. 257—258.  
 4367. CHISOLM. *Colour blindness resulting from neuritis*. Ophthalm. Hosp. Rep. April.  
 4368. TH. LEBER. *Ueber das Vorkommen von Anomalien des Farbensinnes bei Krankheiten des Auges*. Arch. f. Ophthalm. XV (3.) S. 26—107.  
 4369. J. J. MÜLLER. *Zur Theorie der Farben*. Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 208 bis 258. — Pogg. Ann. Bd. 139. S. 411—431, 593—613.  
 4370. W. PREYER. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben*. Pflüger's Arch. I. S. 299—329.

1870.

4371. J. CZERMAK. *Ueber Schopenhauer's Theorie der Farbe*. Wien. Akad. Ber. LXII. S. 393—411.  
 4372. GALEZOWSKI. *Etude sur la chromatoscopie rétinienne ou examen de la vue au moyen de l'échelle de couleurs*. Compt. Rend. LXX. S. 1162.  
 4373. TH. LEBER. *Ueber Farbenblindheit bei Erkrankung des Auges*. Berl. med. Ges. — Berl. klin. Wochenschr. S. 8.  
 4374. A. SCHOPENHAUER. *Ueber das Sehen und die Farben*. 3. Aufl. Herausgeb. von Frauenstädt, Leipzig.  
 4375. J. W. STRUTT. *Some experiments on colour*. Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool. 43. — Nature. III. S. 234—236. (1871.)  
 4376. VIEBORDT. *Die Messung der Lichtabsorption durchsichtiger Medien mittelst des Spectralapparats*. Pogg. Ann. CXL. S. 172.  
 4377. M. WOINOW. *Zur Farbenempfindung*. Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.  
 4378. — *Zur Frage über die Intensität der Farben*. Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 251.

1871.

4379. J. AITKEN. *Is blue a primary colour?* Nature. IV. S. 465.  
 4380. A. BACHMEISTER. *Farben und Farbensinn*. Ausland. S. 847—851.  
 4381. F. C. DONDEERS. *Angeborener absoluter Defect des Farbensinnes*. Zehender's Klin. Monatsbl. IX. S. 470—471.  
 4382. GALEZOWSKI. *Quelques considérations sur la cécité par cause pathologique pour les couleurs*. Ann. d'Oculist. LXV. S. 221—243.  
 4383. F. HOLMGREN. *Ueber Farbenblindheit und die Young-Helmholtz'sche Farbentheorie*. Upsala Läkeref. Förh. VI. S. 634—687.  
 4384. J. CL. MAXWELL. *On colour vision*. Nature. IV. S. 13—16.  
 4385. J. T. MOTT. *The primary colours*. Nature. III. S. 246 u. 307.  
 4386. J. J. MURPHY. *The sensation of colour*. Nature. IV. S. 27.  
 4387. J. J. OPPEL. *Ueber chromatische Täuschungen, den relativen Werth der Farbenbezeichnungen und das Zustandekommen unserer Farbenwahrnehmung überhaupt*. Jahresber. d. Frankf. Ver. 1869/70. S. 96—105.  
 4388. J. W. STRUTT. *Colour*. Nature. IV. S. 142.  
 4389. M. WOINOW. *Zur Diagnose der Farbenblindheit*. Graefe's Arch. XVII. (2.) S. 241—248.

1872.

4390. J. AITKEN. *On colour and colour sensation*. Proc. of the Roy. Scottish Soc. of Arts. 1871—1872.  
 4391. G. BRIESEWITZ. *Ueber das Farbensehen bei normalem und atrophischem Nervus opticus*. Inaug.-Diss. Greifswald.  
 4392. E. CHEVREUL. *Réponse aux allégations contenues dans un rapport de M. A. Gruyer sur l'Exposition internationale de Londres à propos des tapisseries des Gobelins*. Compt. Rend. LXXV. S. 902 u. 993.









4489. HJORT. *Om Farveblindhed*. Norsk. Mag. for Lægevid. 3. R. VIII. 3 Forh. S. 27—29.
4490. FR. HOLMGREN. *Einige neuere praktische Methoden zur Entdeckung der Farbenblindheit*. Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. 193—226.
4491. — *Ueber den farbigen Schatten und die Farbenblindheiten*. Upsala Läkaref. Förh. XIII. S. 456—565.
4492. E. JAVAL. *Correction du Daltonisme*. Gaz. des Hôpit. No. 54. S. 430. — Progr. Méd. No. 18. S. 340.
4493. J. JEFFRIES. *Dangers from Color Blindness in railroad employes and pilots*. Boston, Rand, Avery & Co.
4494. — *Incurability of congenital color-blindness*. The Boston Med. and Surg. Journ. March 28.
4495. — *Color-Blindness. A lecture*. Boston daily Advertiser.
4496. D. KITAO. *Zur Farbenlehre*. Inaug.-Diss. Göttingen.
4497. J. v. KRIES. *Beitrag zur Physiologie der Gesichtsempfindungen*. du Bois' Arch. f. Physiol. 1878. S. 503—524.
4498. E. LANDOLT u. A. CHARPENTIER. *Des sensations de lumière et de couleurs dans la vision directe et dans la vision indirecte*. Compt. Rend. Bd. 86. S. 495—497. — Gaz. Méd. de Paris. No. 10. S. 120.
4499. A. LEDERER. *Ueber Farbenblindheit*. Gesundheit. III. S. 22.
4500. H. MAGNUS. *Beiträge zur Kenntnis der physiologischen Farbenblindheit*. Arch. f. Ophthalm. XXIV. (4.) S. 171—236.
4501. — *Die Farbenblindheit, ihr Wesen und ihre Bedeutung*. Breslau, J. U. Kern. 60 S.
4502. — *Die Farbenblindheit*. Nord u. Süd. Dec. VII. (18.) S. 235—245.
4503. — *Neueres zur Theorie und Praxis der Farbenblindheit*. Dtsch. med. Wochenschr. No. 20.
4504. H. MAGNUS, H. COHN u. JACOBI. *Ueber Farbenblindheit*. Bresl. Ztg. No. 59. — Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 56—58 u. 82—86.
4505. F. MINDER. *Beitrag zur Lehre von der Farbenblindheit*. Inaug.-Diss. Bern, Stämpfli.
4506. NUËL. *L'amblyopie alcoolique et le Daltonisme*. Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. (3.) XII. No. 7. S. 686—701. — Ann. d'Oculist. LXXX. No. 3 u. 4.
4507. O. RADDE. *Internationale Farbenscala. 42 Gammen mit 882 constanten Tönen*. Hamburg-Paris, Steno-chrom. Anst. v. Radde.
4508. ROSENSTIEHL. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude des sensations colorées; de l'harmonie des couleurs*. Compt. Rend. Bd. 86. S. 343.
4509. — *Assortiment des couleurs*. Soc. d'encourag. p. l'industr. nat. V. 24. 12 S.
4510. — *Définition et classification des couleurs*. Assoc. franz. p. l'avanc. d. sc. 29. VIII. 12 S.
4511. J. STILLING. *Ueber Farbensinn und Farbenblindheit*. Cassel, Fischer. 34 S.
4512. A. WEBER. *Ueber Prüfung des Farbensinnes*. Ber. d. Vers. d. Heidelb. Ophthalm. Ges. S. 130—132. — Beil. z. Augusth. d. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. S. 38—40. 1879.
4513. J. AITKEN. *Colour-Blindness*. Nature. No. 522. — Journ. anat. and phys. XIII. S. 322.
4514. BATUT. *De la chromatopseudopsie*. Thèse de Paris.
4515. G. A. BERRY. *Remarks on the Examination and Classification of Cases of Colour-Blindness*. Edinb. Med. Journ. Bd. 292. S. 305.
4516. BRIBOSIA. *Rapport sur les communications de M. Möller, relatives au daltonisme*. Bull. de l'Acad. roy. de Méd. de Belgique. (3.) XIII. 2. S. 208—228.
4517. H. F. BROWN und J. HEROU. *Verhalten des Auges zur Neutraltinte*. Ann. de Chimie. Bd. 199. S. 178.
4518. E. BRÜCKE. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie*. Wien. Ber. LXXX. (3.) 3. Juli.
4519. CAMERON. *Colour-Blindness*. Dublin. Journ. Sept.
4520. C. CHEVREUL. *La vision des couleurs*. Compt. Rend. Bd. 88. S. 929—940. Rev. Scient. No. 47.
4521. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggesttive*. Ann. d'Ottalm. VIII. 2/3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Phys. III. S. 711.
4522. H. COHN. *Studien über angeborene Farbenblindheit*. Breslau, E. Morgenstern.
4523. — *Einige Bemerkungen über Herrn Dr. Magnus' Aufsatz über Farbenblindheit*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXV. 1. S. 341.

























## 1892.

4897. W. DE W. ABNEY and E. R. FESTING. *Colour Photometry*. London, Phil. Transact. Vol. 183. S. 531—565.
4898. A. ANGELUCCI. *L'occhio et la Pittura*. Diss. inaug.
4899. BICKERTON. *On colour-blindness*. London, Macmillan.
4900. A. CHAUVEAU. *Couleurs fondamentales*. Acad. des Scien. 21./28. Novbr.
4901. GALEZOWSKI. *De l'hémianopsie chromatique dans une amblyopie nerveuse*. Rec. d'ophthalm. No. 10. S. 576.
4902. GUAITA. *Prüfung der Gemälde von Beccafumi mit Rücksicht auf die Farbenempfindung des Malers*. XIII. Congr. d. ital. ophthalm. Ges. in Palermo. April.
4903. A. KÖNIG u. C. DIETERICI. *Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum*. Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 241—347. Auch sep. Hamburg, L. Voss. 107 S.
4904. W. POLE. *Some unpublished data on colour-blindness*. Philos. Mag. (5.) 34. S. 100—114.
4905. — *Further data on colour-blindness. II*. Philos. Mag. (5.) 34. S. 439—443.
4906. O. N. ROOD. *On a colour System*. Americ. Journ. of science. XLIV. S. 263—270.
4907. RUTHERFORD. *On colour sense*. Proc. of the Roy. Soc. of Edinb.

## 1893.

4908. W. DE W. ABNEY. *The sensitiveness of the eye to light and colour*. Nature. XLVII. S. 538—542.
4909. W. BAILY. *Notes on the construction of a colour map*. Philos. Mag. (5.) XXXV. S. 46—47.
4910. E. BRODHUN. *Die Gültigkeit des Newton'schen Farbenmischungsgesetzes bei dem sog. grünblinden Farbensystem*. Zeitschr. f. Psychol. V. S. 323—334.
4911. DE DANTEC. *De la sensibilité colorée*. Soc. d'anat. et de physiol. de Bordeaux. 26. Juni. — Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9.) V. S. 718—722.
4912. C. LADD-FRANKLIN. *On theories of light-sensation*. Mind. (N. S.) II. No. 8. S. 478—490.
4913. P. GLAN. *Zum Grundgesetz der Complementärfarben*. Wiedemann's Ann. f. Phys. u. Chem. Bd. 48. S. 307—327.
4914. J. B. HAYCRAFT. *A new Hypothesis concerning Vision*. Proceed. of the Roy. Soc. LIII. No. 322. S. 78. LIV. No. 327. S. 272—274.
4915. E. HERING. *Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen*. Pflüger's Arch. Bd. 54. S. 277—312.
4916. J. W. LOVIBOND. *Measurement of light and colour sensations*. George Gill & Sons, London.
4917. W. POLE. *Further data on colour-blindness. III*. Philos. Mag. Jan. S. 52—62.
4918. — *Further data on colour-blindness. IV*. Philos. Mag. XXXVI. No. 219. S. 188—195.
4919. — *Data on the phenomena of colour-blindness, chiefly derived from foreign sources*. Proc. of the Roy. Soc. of Edinb. 16. Jan. XX. S. 103—140.
4920. — *On the present state of knowledge and opinion in regard to colour-blindness*. Transact. of the Roy. Soc. of Edinb. XXXVII. (2.) No. 22. S. 441—479.

## 1894.

4921. A. ANGELUCCI. *La funzione visiva dei vecchi e i suoi effetti sull'impiego del colore in pittura*. Arch. di Ottalm. II. S. 3 u. 69.
4922. R. B. CARTER. *The quantitative determination of colour vision*. The Lancet. No. 3681. S. 665.
4923. COGNACQ. *De la sensibilité colorée*. Thèse de Bordeaux. 1893—1894.
4924. DUFOUR. *A propos de la théorie de la vision des couleurs*. Ann. d'ocul. CXI. S. 350—371.
4925. E. HERING. *Ueber angebliche Blaublindheit der Fovea centralis*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 59. S. 403—414.
4926. R. HILBERT. *Die individuellen Verschiedenheiten des Farbensinnes zwischen den Augen eines Beobachters*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 57. S. 61—64.
4927. A. KÖNIG. *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen*. Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 577—598.
4928. W. NICATI. *Esthésiométrie et photométrie oxyopiques*. Arch. d'Ophthalm. XIV. (5.) S. 297—302.



1887.

4953. GRADENIGO. *Sulla teoria di Angelucci*. Ann. di Ottalm. S. 450.

1888.

4954. A. GOELLER. *Die Analyse der Lichtwellen durch das Auge*. Du Bois' Arch. f. Physiol. S. 139—162.  
 4955. G. NORRIE. *Dr. Waldemar Krenschel's mechanische teori for lysformemmelsen. (K.'s mechanische Theorie der Lichtempfindung.)* Ugeskrift f. læger. (4). XVIII. No. 19, 20 u. 21.  
 4956. W. WUNDT. *Die Empfindung des Lichtes und der Farben*. Philos. Stud. IV. S. 312 bis 389.

1889.

4957. CH. V. BURTON. *Versuche über Farbenwahrnehmung und über eine photoelektrische Theorie des Sehens*. Proc. of the Cambridge Phil. Soc. VI. S. 308.  
 4958. G. NORRIE. *Waldemar Krenschel's Grundzüge einer mechanischen Theorie der Lichtempfindung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 145—159.  
 4959. PREOBRASCHENSKY. *Hypothese des Farbensehens*. Journ. russ. phys.-chem. Ges. XXI. Phys. Teil. S. 248—259. — Journ. de Phys. (2.) IX. S. 538. (1890.)

1890.

4960. F. W. EDRIDGE-GREEN. *A new theory of colour-blindness and colour-perception*. Proc. of the roy. soc. XLVII. S. 176.

1891.

4961. R. E. LIESBGANG. *Theorien der Farbenempfindung*. Phot. Arch. April.

1892.

4962. CHR. LADD-FRANKLIN. *Eine neue Theorie der Lichtempfindungen*. Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 211—221.

1893.

4963. H. EBBINGHAUS. *Theorie des Farbensehens*. Zeitschr. f. Psychol. V. S. 145—238. Auch sep.. Hamburg, L. Voss. 94 S.

1894.

4964. C. LADD FRANKLIN. *Prof. Ebbinghaus' theory of colour vision*. Mind. (N. S.) III No. 9. S. 98—105.  
 4965. J. v. KRIES. *Ueber den Einfluss der Adaptation auf Licht- und Farbenempfindung und über die Function der Stäbchen*. Ber. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. IX. (2.) S. 61—70. — Freiburg i. B., Mohr. 14 S.  
 4966. W. NICATI. *Principes de chroologie ou synthèse physiologique de la couleur*. Compt. Rend. de l'Acad. des Sienc. Bd. 119. S. 917—919.  
 4967. H. PARINAUD. *La sensibilité de l'oeil aux couleurs spectrales; fonctions des éléments rétinien et du pourpre visuel*. Ann. d'ocul. Bd. 112. (4.) S. 228.  
 4968. D. TURNER. *A theory of electrical vision*. The Lancet. No. 3722. S. 1535.

## d) Peripheres Farbensehen.

1870.

4969. J. CL. MAXWELL. *On colour vision at different points of the retina*. Engineer. XXX. S. 268. Rep. Brit. Assoc. XL. Liverpool 40.  
 4970. M. WOINOW. *Zur Farbenempfindung*. Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 212.

1872.

4971. E. RÄHLMANN. *Ueber Farbenempfindung in den peripherischen Netzhautpartien in Bezug auf normale und pathologische Brechungszustände*. Halle. Inaug.-Diss.

1873.

4972. A. FICK. *Zur Theorie der Farbenblindheit*. Verh. d. physik.-med. Ges. zu Würzburg. N. F. V. S. 129.  
 4973. E. LANDOLT. *Farbenperception der Netzhautperipherie*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XI. S. 376—377.

1874.

4974. KRÜKOW. *Objective Farbenempfindungen auf den peripherischen Theilen der Netzhaut*. Arch. f. Ophthalm. XX. (1.) S. 255. — Moskauer ärztl. Anz. No. 15 u. 16.  
 4975. E. LANDOLT. *De la perception des couleurs à la périphérie de la rétine*. Ann. d'Ocul. S. 1.





4998. E. HERING. *Prüfung der sogenannten Farbendreiecke mit Hülfe des Farbensinnes excentrischer Netzhautstellen.* Pflüger's Arch. XLVII. S. 417—438.  
1892.
4999. E. HEGG. *Zur Farbenperimetrie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXVIII. S. 145 bis 168. Diss. Bern.  
1893.
5000. O. BULL. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CX. S. 169.
5001. E. HEGG. *La périmétrie des couleurs.* Ann. d'Ocul. CIX. S. 321.
5002. A. KIRSCHMANN. *Die Farbenempfindung im indirecten Sehen.* Erste Mittheilung. Philos. Stud. VIII. S. 592—614.  
1894.
5003. OLE BULL. *Sur la périmétrie au moyen des pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 284.
5004. A. DROTT. *Die Außengrenzen des Gesichtsfeldes für weiße und farbige Objecte bei normalem Auge.* Diss. Breslau. 32 S.
5005. E. HEGG. *Sur la périmétrie au moyen de pigments colorés.* Ann. d'Ocul. CXI. S. 122.

**e) Methoden, Apparate, Farbenproben u. s. w. zur Untersuchung des Farbensinnes.**

Betreffs der Untersuchung mit dem Farbenkreisel ist auch die Litteratur in § 22 zu beachten.

- 1865.
5006. E. ROSE. *Ueber die einfachsten Untersuchungsmethoden Farbenkranker.* Berl. klin. Wochenschr. No. 31.
- 1870.
5007. E. KETTELER. *Analytisch-synthetischer Mischfarbenapparat.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 604—607.
- 1874.
5008. FR. HOLMGREN. *Methoden zum schnellen Diagnosticieren der verschiedenen Arten von Farbenblindheit.* Upsala Läkaref. Förh. IX. S. 577—578.
5009. JEAFFRESON. *Photoperimeter.* Ann. d'Ocul. LXXII. 11. Ser. (2.) S. 115.
5010. H. SNELLEN u. E. LANDOLT. *Die Functionsprüfungen des Auges.* Gräfe-Sämisch' Handb. d. ges. Augenheilkde. Bd. III. Cap. I.  
1876.
5011. W. v. BEZOLD. *Der Farbenmischer.* Catalogue of the Spec. Loan Coll. of Scient. Apparatus. London. I. S. 139. No. 972.  
1877.
5012. ROSENSTIEHL. *De l'emploi des disques rotatifs pour l'étude de sensations colorées.* Compt. Rend. Bd. 84. S. 1133—1136.  
1878.
5013. H. COHN. *Gestickte Buchstaben zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 77—78.
5014. — *Ueber die spectroscopische Untersuchung Farbenblinder.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 264—266 u. 288.
5015. — *Der Simultan-Contrast zur Diagnose der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 35—36.
5016. A. DAAE. *Lidt om Undersøgelse af Farvesansen. (Anleitung zur Untersuchung Farbenblinder.)* Norsk. Mag. f. Lægevid. 3 R. VII. S. 450—455. VIII. S. 81.
5017. — *Farbenblindheit und Entdeckung von Farbenblinden.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 10—11.
5018. — *Die Farbenblindheit und deren Erkennung.* Uebers. v. M. SÄNGER. Berlin, Dörffel & Hirschwald.
5019. H. DOR. *Echelle pour mesurer l'acuité de la vision chromatique.* Paris, Masson. 16 S. Basel-Lyon, Georg. — Ber. üb. d. Vers. d. Heidelb. ophthalm. Ges. S. 188.
5020. J. HIRBLINGER. *Prüfungs- und Uebungstafeln zur Untersuchung des Farbensinnes.* Stuttgart, Moser.
5021. J. HIRSCHBERG. *Das Doppelspectroscop zur Analyse der Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 248.







5112. A. v. REUSS. *Wolltäfelchen zur Untersuchung auf Farbenblindheit*. Wien. med. Pr. No. 3.  
 5113. K. RÖHRICH. *Messung der Schärfe des Farbenses an den Tafeln von Ole Bull*. Greifswald. 23 S.  
 5114. H. SEWALL. *A simple method of testing for color-blindness*. Med. News. Philad. S. 625.  
 5115. L. WOLFFBERG. *Eine einfache Methode, die quantitative Farbensenprüfung diagnostisch zu verwerthen*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 359.

1887.

5116. BOEHM. *Die Diagnose des Astigmatismus durch die quantitative Farbensenprüfung*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429.  
 5117. CHIBRET. *Contribution à l'étude du sens chromatique au moyen du chromatophotomètre*. Rev. gén. d'Ophthalm. S. 40.  
 5118. B. HERZOG. *Ueber den practischen Nutzen des Wolffberg'schen Apparates zur diagnostischen Verwerthung der quantitativen Farbensenprüfung*. Diss. Königsberg i. Pr.  
 5119. OLIVER. *New series of Berlin wools for the scientific detection of subnormal colour-perception*. Philad. 4 S.  
 5120. A. W. STOKES. *An apparatus for comparison of colour-tints*. Chem. Soc. 15. Dezbr. — Chem. News. LVI. S. 275.  
 5121. L. DE WECKER und J. MASSELON. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux*. Paris, Doin. 64 S.

1888.

5122. J. AITKEN. *The new chromomictor*. Scientif. News. I. No. 2. S. 27—28 u. No. 3. S. 57—58.  
 5123. K. GROSSMANN. *Colour-blindness, with demonstrations of new tests*. Brit. med. Journ. II.  
 5124. E. HERING. *Eine Vorrichtung zur Farbenmischung zur Diagnose der Farbenblindheit und zur Untersuchung der Contrasterscheinungen*. Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 42. S. 119.  
 5125. OLIVER. *Description of a series of tests for detection and determination of subnormal color-perception designed for use in railway service*. Transact. of the Americ. Ophthalm. Soc. S. 86.  
 5126. H. PARINAUD. *Échelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs*. Paris, Roulot.  
 5127. H. A. STEPHENSON. *Wolffberg's colour test*. Brit. med. Journ. II. S. 111.

1889.

5128. BICKERTON. *Criticisms of the tests for colour-blindness by the board of trade*. Ophthalm. Rev. S. 297.  
 5129. St. C. BUXTON. *Colour-tests for railway servants*. Lancet. S. 1252.  
 5130. FRAENKEL. *Farbige Brillen für Farbenblinde*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XXVII. (2.) S. 57.  
 5131. K. GROSSMANN. *Notes on tests for colour-blindness*. Ophthalm. Rev. S. 298.  
 5132. — *Zur Prüfung auf Farbenblindheit*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. Jan. S. 13.  
 5133. J. F. HEYES. *The testing of colour-blindness*. Nature. XL. S. 572.  
 5134. J. STILLING. *Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbenses*. Leipzig, Thieme.  
 5135. W. UTHOFF. *Die practischen Untersuchungsmethoden auf Farbenblindheit*. Münch. med. Wochenschr. S. 657.  
 5136. L. WOLFFBERG. *Relieftafeln zur Prüfung der Sehschärfe, zur Controlle der Beleuchtungsintensität und zu diagnostischen Zwecken*. Eine vorläufige Mittheilung. Breslau, Preufs & Jünger. 7 S.

1890.

5137. E. BICKART. *Ueber Wolffberg's quantitative Farbensenprüfung zur Diagnose von Refractionsanomalien*. Diss. Straßburg.  
 5138. L. CLARK. *Testing for Colour-Blindness. Letter to the Editor*. Nature. 12. Juni. S. 147.  
 5139. F. W. EDRIDGE-GREEN. *Two new tests for colour-blindness*. Brit. med. Journ. 11. Jan.  
 5140. — *The detection of colour-blindness*. Brit. med. Journ. 9. Novbr.  
 5141. E. FARAVELLI. *Premières lignes d'ophtalmospectroscopie*. Arch. Ital. de Biol. XIV, S. 151—154.  
 5142. K. GROSSMANN. *Note on tests for colour-blindness*. Brit. med. Journ. 11. Jan.



1877.

5168. BULL. *Tilfælde af erhvervet Farveblindhet. (Ein Fall von Farbenblindheit.)* Norsk. Mag. f. Lægevid. 3 B. VII Förh. S. 125.  
 5169. W. CAMERER. *Versuche eines Farbenblinden am Spectralapparat.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. XV. S. 52—60.

1878.

5170. F. C. DONDEES. *Over dichromatische stelsels.* Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. 28. Decbr.  
 5171. J. HIRSCHBERG. *Ein Fall von angeborener sog. Farbenblindheit.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. II. S. 332. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 156.  
 5172. PARSEVI. *Storia de un caso singolare di cromatopseudopsia.* Giorn. d. R. Acad. di Med. Torino. 3.  
 5173. J. STILLING. *Blau-Gelbblindheit mit unverkürztem Spectrum.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. II. S. 99—100.

1879.

5174. O. BECKER. *Ein Fall von angeborener einseitiger totaler Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXV. (2.) S. 205—212.  
 5175. A. v. HIPPEL. *Ueber Farbenblindheit.* Berl. klin. Wochenschr. No. 30.  
 5176. E. LANDOLT. *A manuel of examination of the eyes,* translated by S. M. Burnett. Philadelphia. S. 190—191.  
 5177. NUËL. *Des altérations acquises du sens chromatique.* Bull. de l'Acad. roy. de med. de Belgique. (3) XIII. 3. S. 372—391. Ann. d'Ocul. Bd. 82. S. 64.

1880.

5178. A. v. HIPPEL. *Ein Fall von einseitiger congenitaler Roth-Grünblindheit bei normalem Farbensinn des anderen Auges.* Arch. f. Ophthalm. XXVI. (2.) S. 176.  
 5179. H. MAGNUS. *Ein Fall von angeborener totaler Farbenblindheit.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 373.  
 5180. NETTLESHIP. *On cases of congenital day-blindness with colour-blindness.* St. Thomas Hosp.-Rep. No. X.  
 5181. E. PFLÜGER. *Beobachtungen an Farbenblinden* Arch. f. Augenheilkde. IX. S. 381.

1881.

5182. A. v. HIPPEL. *Ueber einseitige Farbenblindheit.* Arch. f. Ophthalm. XXVII. (3.) S. 47.  
 5183. FR. HOLMGREEN. *Flere Fall of ensidig Färgblindhet.* Upsala Läkaref. Förh. XVI. S. 222—225.  
 5184. E. LANDOLT. *Achromatopsie totale.* Arch. d'ophthalm. franç. No. 2. S. 114—120.  
 5185. H. MAGNUS. *A case of congenital total color-blindness.* Boston med. and surg. Journ. CIII. No. 4. S. 34.  
 5186. E. PFLÜGER. *Weitere Beobachtungen an Farbenblinden.* Arch. f. Augenheilkde. XI. S. 1.  
 5187. S. SNELL. *Peculiar case of Colour-Blindness.* Lancet. April 30. S. 727.

1882.

5188. G. HERMANN. *Ein Beitrag zur Casuistik der Farbenblindheit.* Diss. Dorpat.  
 5189. B. KOLBE. *Ein Fall von angeborener einseitiger Rothgrünschwäche.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. S. 291.  
 5190. H. NOYES. *Two cases of hemi-achromatopsia.* Arch. f. Ophthalm. XI. 2. Juni.  
 5191. TRÉCUL. *Exemple du noir vu en rouge orangé.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1198.

1883.

5192. FONTAN. *Un cas de daltonisme traumatique.* Rec. d'Ophthalm. S. 705.  
 5193. J. L. MINOR. *A case of colour-blindness for green.* Americ. Journ. of med. Sc. Philad. N. S. LXVXX. S. 471.  
 5194. S. W. SHUFELDT. *A case of daltonism affecting one eye.* Med. Rev. New York. XXIII. S. 319.  
 5195. H. R. SWANZY. *Case of Hemiachromatopsia.* Trans. of the Ophthalm. Soc. Vol. III. Lancet. II. (3.)

1884.

5196. EPERON. *Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkunde. XIII. S. 123. Arch. d'Ophthalm. S. 356.  
 5197. NOYES. *Zwei Fälle von Hemiachromatopsie.* Arch. f. Augenheilkde. XIII. S. 123.





## g) Xantopsie (Santoninwirkung), Erythropsie, Chloropie und Kyanopie.

1842.

5224. V. SZOKALSKI. *Ueber die Empfindungen der Farben in physiologischer und pathologischer Hinsicht.* Gießen. S. 153.

1852.

5225. WITCKE. *Wirkung des Wurmsamens.* Med. Zeitschr. d. Ver. f. Heilk. in Preussen. No. 7.

1854.

5226. KNOBLAUCH. *Beitrag zur Wirkung des Santonins auf das Sehorgan.* Deutsche Klinik. No. 35.

1855.

5227. ZIMMERMANN. *Gelb- und Grünsehen nach Santoniningebrauche.* Deutsche Klinik. Nov. 14.

1858.

5228. A. DE MARTINI. *Effets produits sur la vision par la santonine.* Compt. Rend. XLVII. S. 259—260.

5229. E. ROSE. *De Santonico.* Diss. Berlin.

1859.

5230. T. L. PHIPSON. *Action de la santonine sur la vue.* Compt. Rend. XLVIII. S. 593 bis 594.

5231. LEFÈVRE. *Action de la santonine.* Compt. Rend. XLXIII. S. 448.

5232. E. ROSE. *Ueber die Wirkung der wesentlichen Bestandtheile der Wurmbülthen.* Virchow's Arch. XVI. S. 233—253.

1860.

5233. FALCK. *Mittheilungen über die Wirkungen des Santonins.* Deutsche Klinik. No. 27 u. 28.

5234. E. ROSE. *Ueber die Farbenblindheit durch Genuß der Santonsäure.* Virchow's Arch. XIX. S. 522—536. XX. S. 245—290.

5235. A. DE MARTINI. *Sur la coloration de la vue et de l'urine produite par la santonine.* Compt. Rend. L. S. 544—545. Inst. S. 108 u. 109.

5236. GUÉPIN. *Note sur l'action de la santonine sur la vue et son action thérapeutique.* Compt. Rend. LI. S. 794—795.

1861.

5237. FRANCESCHI. *On the action of Santonine on vision and its causes.* Ref. in Ann. d'Ocul. S. 199.

1863.

5238. E. ROSE. *Ueber die Hallucinationen im Santonrausch.* Virchow's Arch. XXVIII.

1864.

5239. E. ROSE. *Die Gesichtstäuschungen im Icterus (Nebst einem Anhang über den Farbensinn bei der Nachtblindheit und die Wirkung der Pikrinsäure auf das Auge.)* Virch. Arch. XXX. S. 442.

1865.

5240. B. SCHELSKE. *Rothblindheit in Folge pathologischer Processe.* Arch. f. Ophthalm. XI. (1.) S. 171.

1867.

5241. G. HÜFNER. *Versuch einer Erklärung der im Santonrausche beobachteten Erscheinung von partieller Farbenblindheit im Sinne der Young'schen Theorie.* Arch. f. Ophthalm. XIII. (2.) S. 309.

1868.

5242. W. PREYER. *Ueber anomale Farbenempfindungen und die physiologischen Grundfarben.* Pflüger's Arch. I. S. 229—329.

5243. F. GIOVANNI. *Effets de coloration de la santonine.* Journ. de chim. med. S. 373 bis 376.

1871.

5244. BRACHET und E. GSELL. *De l'application de verres à base d'uranium ou de sesquioxide de fer aux béciles, pour combattre les affections de l'oeil et principalement l'aphakie.* Compt. Rend. Bd. 72. S. 544.



5276. C. SCHULIN. *Erythropsia*. Northwest. Lancet, St. Paul. 1884—85. IV. S. 317.  
 5277. A. SZILI. *Ueber Erythropsie*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IX. Februar. 1886.  
 5278. A. CARRERAS. *La eritropsia en los operados de cataracta*. Rev. de sc. méd. S. 391.  
 5279. GALEZOWSKI. *De l'érythropsie ou vision colorée des opérés de la cataracte*. Arch. slav. de biol. L S. 426.  
 5280. A. GRISSLER. *Beiträge zur Kenntniß der Erythropsie (Rothsehen) und verwandter Erscheinungen*. Schmidt's Jahrb. Bd. 208. S. 86.  
 5281. R. HILBERT. *Zur Kenntniß der Erythropsie*. Kl. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 483.  
 5282. — *Contribution to the knowledge of xanthopsia*. Arch. Ophthalm. New-York. XIV. S. 196.  
 5283. — *Beitrag zur Kenntniß der transitorischen Farbenblindheit*. Arch. f. Augenheilkde. XVI. S. 417.  
 5284. SZILI. *Einige Bemerkungen zur Erythropsiefrage*. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 259.  
 1887.  
 5285. W. DOBROWOLSKY. *Ueber die Ursachen der Erythropsie*. Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 213.  
 5286. TH. KUBLI. *Vier Fälle von Erythropsie (Russisch.)* Westnik ophthalm. IV. (3.) S. 239.  
 5287. O. PURTSCHER. *Neue Beiträge zur Frage der Erythropsie*. Arch. f. Augenheilkde. XVII. S. 260.  
 1888.  
 5288. DUFOUR. *Sur la vue rouge ou l'érythropsie*. Ann. d'Ocul. Bd. 99. S. 135.  
 5289. A. KÖNIG. *Ueber den Einfluß von santoninsaurem Natron auf ein normales trichromatisches Farbensystem*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XII. S. 353.  
 5290. E. VALUDE. *L'érythropsie*. Arch. d'Ophthalm. VIII. S. 130.  
 5291. WESTHOFF. *Erythropsie bei Aphakie*. Festbündel, Donders' Jubiläum. Amsterdam. S. 256.  
 1889.  
 5292. VETSCH. *Ueber das Rothsehen*. Correspondenzbl. f. Schweiz. Aerzte. XIX.  
 1891.  
 5293. M. REICH. *Zur Lehre von der Erythropsie und Xanthokyanopsie*. Westnik Oftalm. — Petersb. med. Wochenschr.  
 1892.  
 5294. W. M. BAUMONT. *Erythropsie dans l'aphakie*. Ophthalm. Rev. XI. S. 72—75.  
 5295. R. HILBERT. *Zur Kenntniß der Kyanopie*. Arch. f. Augenheilkde. Bd. 24. S. 240—244.  
 5296. VAN MILLINGEN. *Contribution à l'étude de l'érythropsie*. Ann. d'ocul. S. 417.  
 1898.  
 5297. E. BERGER. *Accès d'érythropsie chez un aveugle*. Rev. gén. d'ophthalm. No. 2. S. 65.  
 5298. E. FUCHS. *Ueber einen Fall von subjectiven Gehörs- und Gesichtsempfindungen*. Neurol. Centralbl. No. 22.  
 5299. R. HILBERT. *Die Chloropie*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. Jahrg. S. 50—52.  
 5300. J. HIRSCHBERG. *Grünsehen auf einem Auge*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. XVII. S. 110—111.  
 1894.  
 5301. GUEBHARD. *Ueber Grünsehen*. Séanc. d. l. Soc. franç. de Phys. 1893. S. 129. — Naturwiss. Rundsch. S. 168.  
 5302. R. HILBERT. *Die durch Einwirkung gewisser toxischer Körper hervorgerufenen subjectiven Farbenempfindungen*. Arch. f. Augenheilkde. XXIX. S. 28—32.  
 5303. — *Erythropie, zehn Minuten andauernd, in Folge starker Erregung des Nervensystems*. Betz's Memorabilien. 3. H.  
 5304. SOMYA. *Zwei Fälle von Grünsehen*. Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 305—307.

#### h) Praktische Bedeutung und Verbreitung der Farbenblindheit.

1858.  
 5305. G. WILSON. *A note on the statistics of colour-blindness*. Year book of facts. S. 138—139.  
 1878.  
 5306. A. FAVRE. *Du daltonisme au point de vue de l'industrie des chemins de fer*. Lyon méd. No. 19. S. 6—20.



5336. O. JUST. *Beiträge zur Statistik der Myopie und des Farbensinnes*. Arch. f. Augenheilkde. VIII. (2.) S. 191—201.
5337. KEYSER. *Report on the examination of railroad employees for colour-blindness*. Med. Report. No. 448. New-York. 7. Juni.
5338. H. MAGNUS. *Untersuchungen von 5489 Breslauer Schülern und Schülerinnen auf Farbenblindheit*. Bresl. ärztl. Zeitschr. No. 2.
5339. MEYHÖFER. *Untersuchung von Schülerinnen auf Farbenblindheit*. Schles. Ztg. No. 187.
5340. MOELLER. *Rapport sur la réforme des employées de chemin de fer affectées de Daltonisme en Suède, Norvège et Danemark*. Bull. de l'Acad. de Belg. XIII. (2.) S. 330—361.
5341. — *Étude critique des méthodes d'exploration pour les recherches des daltoniens dans le personel des chemins de fer*. Bull. d'Acad. Roy. de Belg. XII. (2.) S. 283—330 u. 330—361.
5342. A. v. REUSS. *Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen zu den Eisenbahnen*. Neue Freie Presse. 4. Septbr.
5343. TALKO. *Ueber das Untersuchen der Farbenblinden an den Eisenbahnen*. Medycyna. Sowrennaja Medicina. No. 11 u. 12.

1880.

5344. H. W. AUSTIN. *The color-blind and colored signals*. New Orleans Med. a. surg. Journ. Oct.
5345. O. E. DE FONTENAY. *Ueber das Vorkommen der angeborenen Farbenblindheit in Dänemark*. Nord. med. ark. XII. No. 8. No. 15.
5346. B. J. JEFFRIES. *Report of the examination of 27927 school-children for Color-blindness*. Boston.
5347. MAGNUS. *Examination of colour-blindness*. Boston. Med. a. Surg. Journ. CII. (5.) S. 117.
5348. A. MEYER. *Osservazioni sulla cecità pei colori in Italia*. Ann. di Ottalm. Anno IX. S. 190—196.
5349. A. SCHMITZ. *Statistische Mittheilungen über das Vorkommen von Farbenblindheit in Cleve und Umgegend*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. IV. S. 275—278.

1881.

5350. W. T. BACON. *Report of examinations of railroad employes. Color-Blindness*. Conn. State Board Health Report 1881.
5351. E. W. BARTLETT. *Color-Blindness*. State Board Health Rep. Wisconsin. S. 16—27.
5352. DE FONTENAY. *Farvedblind hedeno Betydning for Jernbanere*. Jernbanebladet. 11. November.
5353. J. W. HOLLAND. *Farbenblindheit bei Eisenbahnbediensteten*. Gesundheit. III. S. 61.
5354. MELLBERG. *Jakttagelser rörande färgblindhet*. Nord. med. Ark. XII.
5355. J. STILLING. *Simultancontrast bei Farbenprüfungen*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 129—131.

1882.

5356. LYDER BORTHEM. *Farbenblindheits-Untersuchungen von 550 Schülkindern in Throndhjem*. Norweg. Monatsbl. f. Augenheilkde. Dez.
5357. B. KOLBE. *Untersuchungen auf Farbenblindheit in Russland*. Wratsch. No. 28 u. 32. Deutscher Auszug in St. Petersburger Med. Wochenschr. No. 43.
5358. W. KROLL. *Ueber die günstigen Erfolge der Ausbildung des Farbensinnes*. Hirschberg's Centralbl. f. Augenheilkde. Dez.
5359. D. RUIZ Y SAUROMAN. *Estudios sobre el daltonismo aplicado à la navegacion*. Bol. de med. nav. San Fernando. V. S. 97.
5360. A. SCHMITZ. *Weitere 2623 Untersuchungen auf Farbenblindheit*. Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. VI. September.
5361. W. THOMSON. *The pratical examination of railway employées, as to color-blindness, acuteness of vision and hearing*. Med. News. Philadelphia. XL. S. 36.
5362. E. VITALI. *L'acromatopsia, o daltonismo, considerata in modo speciale nei suoi rapporti col servizio ferroviario; ed esposizione del metodo Holmgren per riconoscerla*. Bari.

1883.

5363. G. B. BONO. *Il daltonismo nei delinquenti*. Arch. f. psichiatri. etc. Torino. IV. S. 88.



## § 21.

## Von der Intensität der Lichtempfindung.

## 1. Psychophysisches Gesetz, Adaptation, untere Reizschwelle, Gröfse des Eigenlichtes.

1760.  
5386. P. BOUGUER. *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière, publ. par Lacaille.* Paris. 1887.
1844.  
5387. STEINHEIL. Abhandl. d. math.-phys. Klasse der bayr. Akademie. S. 14.
1845.  
5388. MASSON. *Etudes de photométrie électrique.* Compt. Rend. XVIII. S. 289. — Pogg. Ann. LXIII. S. 158.
1857.  
5389. MASSON. Ann. de chim. et de phys. XIV. 150.
1858.  
5390. FÖRSTER. *Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie.* Habilitätsschr. Breslau.
1859.  
5391. ARAGO. *Oeuvres complètes.* X. S. 255.  
5392. \*G. TH. FECHNER. *Ueber ein wichtiges psychophysisches Grundgesetz zur Schätzung der Sterngrößen.* Leipzig. Aus den Abhandl. der sächs. Gesellschaft der Wissensch. Math.-phys. Klasse. IV. S. 457. — Nachtrag dazu im Berichte der sächsischen Gesellschaft. 1859. S. 59.
1860.  
5393. G. TH. RUEDE. *Explicatio facti quod minimae paulum lucentes stellae tantum peripheria retinae cerni possint.* Programm. Leipzig.
1861.  
5394. G. TH. FECHNER. *Elemente der Psychophysik.* Leipzig. 2 Bd.
1864.  
5395. H. AUBERT. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abhandl. d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. S. 49. — Moleschott's Unters. VIII. S. 243.
1867.  
5396. G. TH. FECHNER. *Ueber die Frage des psychophysischen Grundgesetzes mit Rücksicht auf Auberts Versuche.* Leipz. Ber. S. 1—20.  
5397. H. AUBERT. *Physiologie der Netzhaut.* Breslau. S. 23—153.
1870.  
5398. V. HENSEN. *Ueber das Sehen in der fovea centralis.* Virch. Arch. f. pathol. Anat. XXXIX. S. 475.
1871.  
5399. A. SICHEL. *De l'anesthésie rétinienne.* Ann. d'ocul.  
5400. M. WOINOW. *Zur Frage über die Intensität der Farbenempfindungen.* Arch. f. Ophthalm. XVI. 1. S. 251.
1872.  
5401. S. LAMANSKY. *Ueber die Grenzen der Empfindlichkeit der Augen für Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 123. Pogg. Ann. 1870. XVI. (1.) S. 251.
1872.  
5402. DELBOEUF. *Recherches théoriques et expérimentales sur la mesure des sensations et spécialement des sensations de lumière et de fatigue.* Bull. Bruxelles. (2.) XXIV. S. 250—262. Inst. S. 413—416.  
5403. W. DOBROWOLSKY. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges gegen die Lichtintensität verschiedener Spectralfarben.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 74—92. Monatsber. d. Königl. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 119—122.









5495. A. LEHMANN. *Ueber die Anwendung der Methode der mittleren Abstufungen auf den Lichtsinn.* Philos. Stud. III. S. 497—533.  
 5496. H. PHILIPSEN. *Undersøgelse af øjets klarhedssans og denne undersøgelses kliniske betydning og omraade.* (Die Untersuchung des Lichtsinnes und ihre klinische Bedeutung.) Hosp. Tid. No. 33—34.

1887.

5497. BRETON. *Mesure des sensations lumineuses en fonction des quantités de lumière.* Compt. Rend. Bd. 105. S. 426.  
 5498. A. CHARPENTIER. *Nouveaux faits sur la sensibilité lumineuse.* Arch. d'Ophthalm. VII. S. 13.  
 5499. H. EBBINGHAUS. *Die Gesetzmäßigkeit des Helligkeitscontrastes.* Sitzgs.-Ber. d. Acad. d. Wiss. zu Berlin. S. 994.  
 5500. G. TH. FECHNER. *Ueber die psychischen Maaßsprincipien und das Weber'sche Gesetz.* Wundt's Philos. Studien. IV. S. 161—280.  
 5501. E. HERRING. *Ueber Newton's Gesetz der Farbmischung.* Lotos. VII. S. 177. — Sep. Leipzig, Freytag. 92 S.  
 5502. H. NEIGLICK. *Zur Psychophysik des Lichtsinnes.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 28—111.  
 5503. — *Sur quelques rapports entre la loi de Weber et les phénomènes de contraste lumineux.* Rev. Philos. Paris. XXIV. S. 180.  
 5504. SEGGER. *Sehprobentafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* Ber. d. XIX. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. Beil. zu klin. Monatsbl. f. Augenhkde. XXV. S. 202—204.  
 5505. TH. TREITEL. *Ueber das Verhalten der normalen Adaptation.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (2.) S. 73.  
 5506. — *Ueber das Wesen der Lichtsinnstörung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIII. (1.) S. 31.  
 5507. L. DE WECKER u. MASSELON. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle, le sens chromatique et le sens lumineux.* Paris, Doin. 64 S.  
 5508. W. WUNDT. *Bemerkungen zu Neiglick's Aufsatz: Zur Psychophysik des Gesichtsinnes.* Philos. Stud. IV. S. 112—116.

1888.

5509. H. EBERT. *Ueber den Einfluss der Schwellenwerthe der Lichtempfindung auf den Character der Spectra.* Wiedem. Ann. XXXIII. S. 136—155.  
 5510. A. E. FICK. *Studien über Licht und Farbenempfindung.* Pflüger's Arch. f. die ges. Physiol. XLIII. S. 441.  
 5511. A. KÖNIG u. E. BRODHUN. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. S. 917—931.  
 5512. S. P. LANGLEY. *Energy and vision.* Americ. Journ. of sc. XXXVI. S. 359.  
 5513. A. MEINONG. *Ueber Sinnestäuschung. Belege des Weber'schen Gesetzes.* Vierteljahresschr. f. wiss. Philos. XII. S. 1—31.  
 5514. J. MERKEL. *Die Abhängigkeit zwischen Reiz und Empfindung.* Wundt's Philos. Stud. IV. S. 541—595. V. S. 245—291, 499—557. (1889.)  
 5515. H. PARINAUD. *Echelle optométrique, acuité visuelle, perception de la lumière et des couleurs.* Paris, Roulot.  
 5516. SEGAL, S. *Ueber die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut und eine einfache Methode zu deren Bestimmung.* (Russisch.) Russk. Mediz. No. 1 u. 2.  
 5517. SEGGER. *Sehproben-Tafeln zur Prüfung des Lichtsinnes.* München. Litter.-artist. Anstalt.

1889.

5518. V. BASEVI. *Influenza dell' adattamento sulla sensibilità retinica per la luce e per i colori.* Ann. di Ottalm. XVII. S. 475.  
 5519. H. EBBINGHAUS. *Ueber den Grund der Abweichungen von dem Weber'schen Gesetz bei Lichtempfindungen.* Pflügers Arch. XLV. S. 113.  
 5520. H. EBERT. *Bemerkungen zu Herrn Langley's Aufsatz „Energy and vision“.* Wiedemanns Ann. XXXVI. (2.) S. 592.  
 5521. G. TH. FECHNER. *Elemente der Psychophysik.* 2. unveränd. Aufl., m. Hinweis auf d. Verf. spät. Arb. u. e. chronologisch geordneten Verzeichnis seiner sämtl. Schriften. 2 Teile. Hragb. v. W. Wundt. Breitkopf & Härtel. Leipzig. 346 u. 571 S.  
 5522. H. v. HELMHOLTZ. *Ueber das Eigenlicht der Netzhaut.* Verhandl. d. Physik. Ges. zu Berlin. VII. 13. S. 85.  
 5523. A. KÖNIG und E. BRODHUN. *Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn.* (2. Mitth.) Sitzgs.-Ber. d. Berl. Akad. d. Wiss. S. 641—644.







5598. J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI. *De la distribution de la lumière dans le spectre solaire (spectre des Daltoniens)*. Compt. Rend. Bd. 91. S. 1078—1080. Rev. méd. franç. et étrang. 15. Jan. 1881.
5599. NAPOLI. *Un nouveau photomètre*. Séances de la Soc. franç. de Physique, séance du 19. mars.
5600. L. SCHWENDLER. *Eine neue Lichteinheit*. Journ. asiat. Soc. of Bengal. 48. S. 83 bis 94. (1879.) — Beibl. z. d. Ann. d. Phys. u. Chem. IV. 4. S. 280. 1881.
5601. O. BECKER. *Ueber heterochrome Photometrie*. Ber.üb. d. XIII. Vers. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg. (Rostock.) S. 167—172.
5602. E. v. BRÜCKE. *Ueber einige Consequenzen der Young-Helmholtz'schen Theorie*. (2. Abh.) Wien. Akad. Ber. Bd. 84 (3.) S. 425—458.
5603. A. CHARPENTIER. *Sur la sensibilité visuelle dans ses rapports avec la sensibilité lumineuse et la sensibilité chromatique*. Gaz. d. Hôpit. No. 2. S. 21. — The Med. Record. 16. April.
5604. — *Sur la quantité de lumière nécessaire pour percevoir la couleur d'objets de différentes surfaces*. Compt. Rend. Bd. 92. No. 2. S. 92—94. Rev. méd. No. 9.
5605. — *Remarques sur la sensibilité de l'oeil aux différences de lumière successives*. Arch. d'ophthalm. franç. I. No. 2. S. 152—156.
5606. A. CROVA. *Comparaison photométrique des sources lumineuses de teintes différentes*. Compt. Rend. Bd. 93. No. 13. S. 512.
5607. — *Étude sur les spectrophotomètres*. Compt. Rend. Bd. 92. No. 1. S. 36.
5608. A. CROVA u. LAGARDE. *Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples*. Compt. Rend. Bd. 93. No. 23. S. 959—961. Journ. de phys. (2.) I. S. 162—169. (1882.)
5609. W. DOBROWOLSKY. *Ueber die Veränderung der Empfindlichkeit des Auges gegen Spektralfarben, bei wechselnder Lichtstärke derselben*. Pflüger's Arch. XXIV. S. 189—202.
5610. H. KRÜSS. *Photometer und Helligkeitsmessungen*. Centralztg. f. Opt. u. Mechan. No. 1, 2, 3.
5611. S. P. LANGLEY. *Ueber die Vertheilung der Energie im normalen Sonnenspectrum*. Compt. Rend. Bd. 92. S. 701—703. Bd. 93. S. 140—143.
5612. J. MACÉ DE LÉPINAY u. W. NICATI. *Recherches sur la comparaison photométrique des diverses parties d'un même spectre*. Ann. de Chim. et de Phys. (5). XXIV. S. 289—336. 1882.
5613. A. CHARPENTIER. *Étude de l'influence de la coloration sur la visibilité des points lumineux*. Arch. d'ophthalm. S. 542.
5614. — *Sur la visibilité des points lumineux*. Compt. Rend. Bd. 95. S. 148.
5615. — *Description d'un photoptomètre différentiel*. Arch. d'Ophthalm. S. 418.
5616. H. COHN. *Ueber Farbenempfindungen bei schwacher künstlicher Beleuchtung*. Arch. f. Augenheilkde. Bd. 11. S. 283.
5617. J. KRAMER. *Untersuchungen über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Art und dem Grade der Beleuchtung*. Dissert. Marburg.
5618. J. MACÉ DE LÉPINAY et W. NICATI. *Recherches expérimentales sur le phénomène de Purkinje*. Journ. de Phys. (2.) I. S. 33. — Crón. cicat. Barcelona. V. S. 241.
5619. — *Relation entre la loi de Bouguer-Masson et le phénomène de Purkinje*. Compt. Rend. Bd. 94. S. 785.
5620. ROSENSTIEHL. *De l'intensité relative des couleurs*. Séances de la Soc. franç. de Phys. April-Juli. S. 103.
5621. — *De l'emploi des disques tournants pour l'étude des sensations colorées: intensité relative des couleurs*. Compt. rend. T. 94. S. 1411. 1883.
5622. H. AUBERT. *Die Helligkeit des Schwarz und Weiß*. Pflüger's Arch. XXXI. S. 223.
5623. CONVOY. *A new Photometer*. Philos. Mag. S. 423.
5624. A. CROVA. *Description d'un spectrophotomètre*. Ann. de Chim. et Phys. S. 556.
5625. J. MACÉ DE LÉPINAY. *Sur une méthode pratique pour la comparaison photométrique des sources usuelles diversement colorés*. Compt. Rend. Bd. 97. S. 1428.
5626. SABINE. *On a Wedge- and Diaphragm-Photometer*. Philos. Mag. Januar. S. 22.









1889.

5701. A. KÖNIG. *Ueber die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Lichtintensität bei spectraler Beleuchtung.* Verhandl. physik. Ges. Berlin. VIII. S. 9—12.

1890.

5702. W. UETHOFF. *Weitere Untersuchungen über die Abhängigkeit der Sehschärfe von der Intensität, sowie von der Wellenlänge im Spektrum.* Graefe's Arch. f. Ophthalm XXXVI. Abt. 1. S. 33—61.

1892.

5703. A. KARVEZKI. *Du rapport entre l'intensité de l'éclairage et l'acuité visuelle.* (Russisch.) Thèse. St. Petersburg.

## 4. Irradiation.

1519.

5704. LIONARDO DA VINCI. *Trattato della pittura.* Paris. 1651.

1595.

5705. MÄSTLINUS. *Disput. de pass. planet.* Thes. 148.

1602.

5706. TYCHO BRAHE. *Tychonis Brahe Dani Astronomiae instauratae Progymnasmata.* Prag, cap. I.

1604.

5707. KEPLER. *Ad Vitellionem Paralipomena.* Frankfurt. S. 39, 200, 217—221, 285, 286, 445—446.

1610.

5708. GALILEI. *Sydericus Nuncius.*

1611.

5709. GALILEI. *Continuazione del Nunzio sidereo.*

5710. — *Lettera at Padre Christoforo Grienberger.*

1612.

5711. GALILEI. *Istoria e dimostrazioni intorno alle macchie solari.* Roma 1613.

1618.

5712. D'AGUILON. *Francisci Aguilonii opti corum libri sex.* Antwerpen. H. IV. S. 225.

1619.

5713. GALILEI. *Discorso delle comete di Mario Guiducci.* Opere II. S. 256, und 396. *Systema cosmicum.* Lyon 1641. Dial. III. S. 248.

5714. SarsiUS. *Libra astronomica ac philosophica.* Perusiae.

5715. SCHEINER. *Oculus, hoc est fundamentum opticum.* Oeniponti. S. 132 u. 133.

1628.

5716. GALILEI. *Il saggia tore.* Rom. Opere di Galileo Galilei, Florenz 1718. II. S. 299, 329 u. 392—400.

1626.

5717. SarsiUS. *Ratio ponderum librae et simbellae etc.* Paris. S. 183.

1680.

5718. CASTELLI. *Extrait d'une lettre.* Opere di Galileo Galilei, Florenz 1852. IX. S. 206.

1681.

5719. GASSENDI. *Mercurius in sole visus.* Paris. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. IV. S. 499.

1682.

5720. GALILEI. *Dialoghi quattro sopra i due massimi sistemi del mondo.* Florenz, Dial. 3.

5721. SCHICKARD. *Pars responsi ad epistolas P. Gassendi de Mercurio sub sole viso.* Tubingae. (Der Planet wird durch Irradiation verkleinert.)

1686.

5722. GASSENDI. *Epistola prima de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia Lyon 1658. III. S. 421 u. 422.

1687.

5723. DESCARTES. *Dioptrique.* Leyde. Discours VI. S. 67 u. 68.

1640.

5724. GASSENDI. *Epistola secunda de apparente magnitudine solis humilis et sublimis.* Paris 1642. Petri Gassendi opera omnia, Lyon 1658. III. S. 422—431.







5798. LEGRAND. *Sur l'erreur que comportent l'observation du passage de Mercure sur le soleil et beaucoup d'autres observations astronomiques.* Compt. Rend. Bd. 68. S. 244.  
 5799. STONE. *On some points connected with the rediscussion of the observations of the transit of Venus 1769.* Monthly Notices of the Astron. Soc. of London. XXIX. S. 286.

1871.

5800. WYLD. *Certain phenomena applied in solution of difficulties connected with the theory of vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. 1869—72. S. 355 u. 361.

1873.

5801. T. K. ABBOT. *On the „Black Drop“ in the Transit of Venus.* Phil. Mag. (4.) XLVI. S. 375.

5802. LE ROUX. *Sur l'irradiation.* Compt. Rend. Bd. 76. S. 960.

1874.

5803. M. DEVIC. *Sur l'observation d'un phénomène de la goutte noire.* Compt. Rend. Bd. 79. 2. S. 96.

5804. WOLF et ANDRÉ. *Recherches sur les apparences singulières qui ont souvent accompagné l'observation des contacts de Mercure et de Vénus avec le bord du soleil.* Ann. de l'Observatoire de Paris, mémoires. X. 1.

1876.

5805. ANDRÉ. *Sur le passage de Vénus du 9. décembre 1874.* Compt. Rend. LXXXII. S. 205.

1878.

5806. ANDRÉ. *Résultats des observations du passage de Mercure.* Compt. Rend. LXXXVI. S. 1380.

5807. — *Étude du ligament noir dans les passages des planètes devant le soleil.* Assoc. franç. sess. de Paris. — Rev. scient. 2. sér. 8. année.

1879.

5808. CINTOLESI. *Intorno alle immagini accidentali o suggestive.* Ann. d'Ottalm. VIII. 2 u. 3. — Nature. XXI. 21. — Beibl. d. Physik. III. S. 711.

5809. J. PLATEAU. *Un mot sur l'irradiation.* Bull. de l'Acad. roy. des sc. de Belg. No. 7. 2. sér. Bd. 48. S. 37.

1880.

5810. J. PLATEAU. *Un mot sur l'irradiation.* Arch. de biol. I. S. 61—65.

1881.

5811. ANDRÉ und ANGOT. *Origine du ligament noir dans les passages de Vénus et de Mercure et moyen de l'éviter.* Ann. scient. de l'Ecole norm. supér. 2. X. S. 323.

1884.

5812. PROMPT. *Des lignes d'irradiation.* Nice méd. 1883—84. VIII. S. 145.

1886.

5813. A. CHARPENTIER. *Propagation de la sensation lumineuse aux zones rétinienne non excitées.* Compt. Rend. Bd. 102. S. 983.

5814. J. KROUTIL. *Note über Irradiation.* (böhmisch) Casopis. XVI. S. 31—42.

## § 22.

## Die Dauer der Lichtempfindung.

Hinsichtlich der positiven Nachbilder ist auch die Litteratur in § 23 zu beachten.

cca. 150.

5815. PTOLEMAEUS. *Optik.*

cca. 1000.

5816. ALHAZEN. *Opticae thesaurus. Alhaseni Arabis libri VII edit. a F. Risnero.* Basil 1572. Lib. II. cap. 20. S. 36—37.





- 1781.
0. KRATZENSTEIN. *Afhandling om det menneskelige öies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. Coll. des mém. de la Soc. roy. danoise des sc. Erster Theil. S. 131. Kopenhagen.
- 1786.
1. R. W. DARWIN. *New experiments on the ocular spectra of light and colours.* Philos. Transact. LXXVI. (2.) S. 313.
- 1795.
2. T. CAVALLO. *Naturlehre*, übers. v. Trommsdorf. III. S. 132.
- 1796.
3. VOIGT. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.
- 1800.
4. A. F. LÜDICKE. *Beschreibung eines Schwinggrades, die Verwandelung der Regenbogenfarben in Weiß darzustellen.* Gilb. Ann. V. S. 272.
- 1808.
5. P. PRÉVOST. *Remarques sur trois suites d'observations cyanométriques de H. B. de Saussure.* Journ. de Phys. de Bozier. LVII. S. 372 u. 382.
- 1806.
6. RITTER. *Physisch-chemische Abhandlungen.* Leipzig. III. S. 356.
- 1810.
7. A. F. LÜDICKE. *Versuche über die Mischung prismatischer Farben.* Gilb. Ann. XXXIV. 4.
8. — *Beschreibung eines Chromaskops.* Gilb. Ann. XXXVI.
9. — *Ueber das prismatische weiße Licht.* Gilb. Ann. XXXVI.
- 1816.
0. A. F. LÜDICKE. *Versuche mit dem Chromaskop.* Gilb. Ann. LII.
- 1819.
1. PARROT. *Entretiens sur la Physique.* Dorpat 1819—24. III. S. 235.
- 1825.
2. PURKINJE. *Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne.* Bd. II: *Neue Beiträge zur Kenntniß des Sehens in subjectiver Hinsicht.* Berlin. S. 100.
3. ROGET. *Explanation of an optical deception in the appearance of the spokes of a wheel seen through vertical apertures.* Philos. Transact. I. 131. Pogg. Ann. V. S. 93.
- 1827.
4. E. G. FISCHER. *Lehrbuch der mechanischen Naturlehre.* Berlin. II. S. 267. (Farbenkreisel.)
5. PARIS. *Thaumatrope.* Pogg. Ann. X. S. 480. — Edinb. Journ. of Sc. VII. S. 87.
6. J. PLATEAU. *Sur la durée des sensations que les couleurs produisent dans l'oeil.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. III. S. 27.
7. C. WHEATSTONE. *On the duplication and multiplication of objects, a new optical experiment.* Quarterly Journ. of sc. N. S. I. S. 344.
8. TH. YOUNG. *Optische Erscheinung bei einer schwingenden Saite.* Pogg. Ann. X. S. 470 bis 480.
- 1828.
9. J. PLATEAU. *Sur les sensations produites dans l'oeil par les différentes couleurs.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. IV. S. 51.
- 1829.
0. J. PLATEAU. *Dissertation sur quelques propriétés des impressions produites par la lumière sur l'organe de vue.* Liège.
1. — *Lettre relative à différentes expériences d'optique.* Corresp. math. et phys. de Quetelet VI. S. 121.
2. LE FRANÇOIS. *Théorie mathématique des courbes d'intersection apparente de deux lignes qui tournent avec rapidité autour de deux points fixes.* Corresp. math. et phys. de Quetelet. V. S. 120.
3. — *De la courbe produite par les intersections successives de deux droites pivotant autour de deux points fixes, de manière que la vitesse angulaire de l'une soit double de celle de l'autre.* Corresp. math. et phys. de Quetelet V. S. 379.
- 1830.
4. J. PLATEAU. *Ueber einige Eigenschaften der vom Lichte auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke.* Pogg. Ann. XX. S. 304—324 u. 543. (Verschiedene Dauer des Farbeneindrucks, Radspeichencurven.)











5994. J. PLATEAU. *Sur une lois de la persistance des impressions dans l'oeil.* Bull. de l'Acad. roy, de Belg. (2. sér.) T. XLVI. No. 9 u. 10. S. 334.

5995. REYNAUD. *Le Praxinoscope.* La Nature. 1. Févr. 1879.  
1879.

5996. A. KLEINER. *Physiologisch-optische Beobachtungen. Ueber Talbot's Gesetz.* Pflüger's Archiv. XVIII. S. 542—573.

5997. RICHTER und BREGUET. *Influence de la durée et de l'intensité sur la perception lumineuse.* Compt. Rend. Bd. 88. S. 239—240. — Arch. génér. de méd. April. — Gaz. hebdom. No. 7.

5998. TOBIN. *An new illustration of persistance of vision.* Journ. of the Franklin Institute. LXXVIII. (3. sér.) S. 330.

1880.

5999. E. CHEVREUL. *Note relative à un mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation.* Compt. Rend. Bd. 91. S. 870.

6000. E. DREHER. *Studien am Lebensrad betreffs eines richtigen Verständnisses der Sinneswahrnehmungen.* Die Natur. No. 5. S. 53—55.

6001. OTT und PRENDERGAST. *The rapidity of perception of colored lights.* Journ. of nerv. and ment. dis. (N. S.) V. S. 258.

6002. RICHTER und BREGUET. *De l'influence de la durée de l'intensité de la lumière sur la perception lumineuse.* Arch. de physiol. (2.) VII. S. 689—696.

1881.

6003. BULL. *A new method of examining and numerically expressing the colour perception.* Transact. of the Intern. med. Cong. London. III. S. 49.

6004. KUHN. *Empfehlung des Rothe'schen Kreisels.* Centralbl. f. prakt. Augenheilkde. V. S. 93.

6005. E. LOMMEL. *Einfaches Verfahren, die stroboscopischen Erscheinungen für viele gleichzeitig sichtbar zu machen.* Carl's Repert. XVII. 7. S. 463.

6006. RAYLEIGH. *Experiments on colour.* Nature XXV. S. 64 u. 66.

6007. R. ROTHE. *Farbenkreisels nebst Musterkarte der farbigen Papierscheiben zu Gleichungen.* Prag. — Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 181.

1882.

6008. F. BOAS. *Ein Beweis des Talbot'schen Satzes und Bemerkungen zu einigen aus demselben gezogenen Folgerungen.* Wiedem. Annal. XVI. S. 359—362.

6009. A. CHARPENTIER. *Sur la durée de la perception lumineuse dans la vision directe et dans la vision indirecte.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 96. Franc. méd. II. S. 112.

6010. E. CHEVREUL. *Mémoire sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives évaluées en chiffres, de cercles dont une moitié diamétrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses correspondant à trois périodes de leur mouvement à partir de l'extrême vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 95. S. 1086.

6011. WEAD. *On Combining Colour-Disks.* Nature. XXV. S. 266.

6012. — *Le Phénakistoscope de projection.* La Nature. X. No. 473. S. 64.

1883.

6013. A. M. BLOCH. *Sur la vitesse des transmissions visuelles, auditives et tactiles.* Compt. Rend. Bd. 97. S. 1221.

6014. E. CHEVREUL. *Sur la vision des couleurs matérielles en mouvement de rotation et sur les vitesses respectives, évaluées en chiffres de cercles dont une moitié diamétrale est colorée et l'autre moitié est blanche; vitesses correspondant à trois périodes de leur mouvement à partir de l'extrême vitesse jusqu'au repos.* Compt. Rend. Bd. 96. S. 18—29.

1884.

6015. A. M. BLOCH. *Expériences sur la vitesse relative des transmissions visuelles, auditives, tactiles.* Journ. de l'anat. et de la physiol. XX. 1.

6016. BUCCOLA und B. UFFREDUZI. *Wahrnehmungszeit der Farben.* Riv. di filos. scient. IV. No. 1.

6017. A. CHARPENTIER. *Sur l'inertie d'appareil rétinien et ses variations suivant la couleur excitatrice.* Compt. Rend. Bd. 99. S. 1061.

6018. A. CORNU. *Expériences d'optique relatives à l'achromatisme des phénomènes d'interférence et à la persistance des impressions sur la retine.* Assoc. Franc. Blois. S. 162.





6050. A. CHARPENTIER. *Influence de la surface sur la sensibilité lumineuse dans le cas des lumières instantanées.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. V. S. 536.  
 6051. — *Durée de l'excitation latente de l'appareil visuel.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 305.  
 6052. — *La persistance des images rétinienne au centre et à la périphérie de la rétine.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 374.  
 6053. — *Sur l'intensité comparée des lumières brèves et de lumières continues.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. S. 493.

1889.

6054. L. BELLARMINOW. *Ueber intermittirende Netzhautreizung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXV. 1. S. 25—49. Westn. ophthalm. VI. 1. S. 1. Tagebl. d. III. Kongresses d. russ. Aerzte. S. 290.  
 6055. L. COUTEAUX. *Une conséquence de l'intermittence des sensations.* Rev. scient. XLIII. S. 316.  
 6056. G. N. STEWART. *Ist das Talbot'sche Gesetz gültig für sehr schnell intermittirendes Licht?* Proceed. of the Roy. Sc. of Edinburgh. XV. 127. S. 441.

1890.

6057. E. CANESTRINI. *Esperienze di ottica fisiologica.* Atti della Società Veneto Trentina de Scienze Naturali. Vol. XI.  
 6058. A. CHARPENTIER. *Recherches sur la persistance des impressions rétinienne et sur les excitations lumineuses de courte durée.* Arch. d'Ophthalm. X. S. 108—135, 212—231, 340—356, 406—430. 522—537.  
 6059. — *Méthode directe pour l'étude de la persistance des impressions lumineuses.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 25. April. S. 198.  
 6060. — *Interférence rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 16. Mai. S. 263.

1891.

6061. E. G. BAADER. *Ueber die Empfindlichkeit des Auges für Lichtwechsel.* Diss. Freiburg. 38 S.  
 6062. BROWN-SÉQUARD. *Remarques sur les recherches de M. Charpentier sur l'intensité et sur la persistance des impressions lumineuses brèves.* Arch. de Physiol. XXIII. No. 3.  
 6063. A. CHARPENTIER. *Démonstration expérimentale d'un temps perdu dans l'excitation des centres visuels.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 528—530.  
 6064. — *Sur la persistance totale des impressions lumineuses, distinguée de leur persistance apparente.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. S. 600—601.  
 6065. — *Dissociation des impressions lumineuses successives par des zones différentes de la rétine.* Arch. de Physiol. (5.) III. 4. S. 674—687.  
 6066. — *Relation entre les oscillations rétinienne et certains phénomènes entoptiques.* Compt. Rend. CXIII. No. 4. S. 217—219.  
 6067. — *Résultats d'expériences sur les interférences rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 19. S. 434—437.  
 6068. — *Méthode pour l'observation des interférences rétinienne.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. III. 18. S. 388—392.  
 6069. A. KURZ. *Stroboscopische Demonstrationen.* Exner's Repert. Bd. 27. S. 569—581.

1892.

6070. E. FARAVELLI. *Il tempo quale coefficiente da introdursi nella determinazione del visus.* (Nota preventiva.) Revista gen. ital. di Clinica med. anno IV. No. 12—13.  
 6071. CL. ROYER. *Recherches d'optique physiologique et physique.* Bruxelles. 42 S. Monnon.

1893.

6072. K. MARBE. *Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultiren.* Diss. Bonn. — Wundt's Philos. Stud. IX. S. 384—399.  
 6073. A. CHARPENTIER. *Démonstration directe de la différence de temps perdu suivant les couleurs.* Arch. de Physiol. (5.) V. 3. S. 568—571.

1894.

6074. K. MARBE. *Vorrichtung zur successiven Variirung der Sektoren rotirender Scheiben und zur Ablesung der Sektorenverhältnisse während der Rotation.* Centralbl. f. Physiol. Heft 25. S. 1—4.



1775.

6095. MONGEZ. *Lettre sur une dégradation des couleurs.* Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 481.

6096. ROZIER. Journ. de phys. de Rozier. VI. S. 486.

6097. SCHERFFER. *Institutionum opticarum partes quatuor.* Wien. Th. I. cap. II. art. III. 1776.

6098. DE GODART. *Premier mémoire d'optique, ou explication d'une expérience de M. Franklin.* Journ. de phys. de Rozier. VII. S. 509.

6099. — *Deuxième mémoire d'optique, ou recherches sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 1.

6100. — *Troisième mémoire d'optique, ou suite de celui sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. VIII. S. 269.

1781.

6101. KRATZENSTEIN. *Afhandling om det menneskelige øies achromatiske beskaffenhed.* Nouv. collect. des mém. de la Soc. roy. Danoise d. sc. I. S. 131. Kopenhagen.

1786.

6102. E. DARWIN. *On the ocular spectra of light and colours.* Phil. Trans. Vol. 76. S. 313.

1787.

6103. *Dissertation sur les couleurs accidentelles.* Journ. de phys. de Rozier. XXX. S. 407. 1792.

6104. WELLS. *An essay upon single vision with two eyes; together with experiments and observations on several other subjects in optics.* London.

1794.

6105. E. DARWIN. *Zoonomia or the law of organic life.* London. — Deutsche Uebersetzung von Brandis. Hannover 1795. II. S. 387.

1796.

6106. VOIGT. *Beobachtungen und Versuche über farbiges Licht, Farben und ihre Mischung.* Gren's Journ. d. Phys. III. S. 235.

1798.

6107. COMPARETTI. *Observationes dioptricae et anatomicae de coloribus apparentibus.* Patav.

1802.

6108. TROXLER. *Ueber das Verschwinden gegebener Gegenstände innerhalb unseres Gesichtskreises.* Himly und Schmidt Ophthalmolog. Bibliothek. Bd. I, St. 2, S. 1—20, Bd. II, St. 2, S. 40.

1808.

6109. HIMLY. *Einiges über die Polarität der Farben.* Ophthalm. Biblioth. I. (2.) S. 1. 1804.

6110. PRIEUR DE LA COTE D'OR. *Bemerkungen über die Farben und einige besondere Erscheinungen derselben.* Ann. d. Chim. LIV. S. 1. — Gilb. Ann. XXXI. S. 315.

6111. TROXLER. *Präliminarien zur physiologischen Optik.* Ophthalm. Biblioth. v. Himly. II. (2.) S. 54 u. (3.) S. 1.

1810.

6112. J. W. v. GOETHE. *Zur Farbenlehre.* I. S. 13. 20.

1816.

6113. *Ueber physiologische Gesichts- und Farbenercheinungen.* Schweigger's Arch. Bd. 16. S. 121—157.

1817.

6114. SCHULZ. *Ueber physiologische Farbenercheinungen, insbesondere das phosphorische Augenlicht als Quelle derselben betrachtet.* In Goethe für Naturwiss. II. S. 20. 38.

1819.

6115. PURKINJE. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.* I. S. 92.

1826.

6116. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes.* Coblenz. S. 401.

1880.

6117. LEHOT. *Nouvelle explication des couleurs accidentelles.* Ann. des sciences d'observ. par Saigey et Raspail. III. (3.) S. 329. Froriep's Notizen XXVIII. S. 177; Fechner's Repertorium 1832. S. 229.

6118. GERGONNE in seinem Journ. de Mathem. XXI. S. 291.



1845.

- 6143 WHEATSTONE. *Sur un effet singulier de juxtaposition de certaines couleurs dans des circonstances particulières.* Inst. No. 582. S. 75.

1846.

6144. COATES. *Ocular spectra.* Proc. of the Americ. Philos. Soc. IV. S. 239.

1847.

6145. H. W. DOVE. *Ueber subjective Farbenercheinungen bei einem Farbenkreisel, und eine darauf gegründete Methode, seine Umdrehungsgeschwindigkeit zu bestimmen.* Pogg. Ann. LXXI. S. 112.

1848.

6146. H. W. DOVE. *Ueber Scheiben zur Darstellung subjectiver Farben.* Pogg. Ann. LXXV. S. 526.

6147. GRÜEL. *Ueber einen Apparat für subjective Farbenercheinungen.* Pogg. Ann. LXXV. S. 524.

6148. H. TAYLOR. *On the apparent motion of the figures in certain patterns of blue and red worsted.* Phil. Mag. XXXIII. S. 345; Froriep's Notizen IX. S. 33; Arch. d. sc. phys. et nat. X. S. 304.

1849.

6149. J. PLATEAU. *Quatrième note sur de nouvelles applications curieuses de la persistance des impressions sur la rétine.* Bull. de l'Acad. de Belg. XVI. (2.) S. 254.

1850.

6150. J. M. SEGUIN. *Sur les couleurs accidentelles.* Compt. Rend. XXXIII. S. 642. XXXIV. S. 767—768. XXXV. S. 476. — Phil. Mag. (4.) III. S. 77. — Sillim. Journ. (2.) XIII. S. 441.

6151. SINSTEDEN. *Ueber einen neuen Kreisel zur Darstellung subjectiver Complementärfarben und eine eigenthümliche Erscheinung, welche die Orangefarbe dabei zeigt.* Pogg. Ann. LXXXIV S. 45.

6152. E. BRÜCKE. *Untersuchungen über subjective Farben.* Pogg. Ann. LXXXIV. S. 418. Wien. Denkschr. III. S. 95; Arch. d. sc. phys. et nat. XIX. S. 122.

6153. MINICH. *Sui colori accidentali.* Atti dell'Istituto Veneto di sc. lettere ed arti.

1852.

6154. W. R. GROVE. *On a mode of reviving dormant impressions on the retina.* Phil. Mag. (4.) III. S. 435—436; Inst. S. 251—252. Arch. d. sc. phys. et nat. XX. S. 227—228; Cosmos I. S. 237—238.

6155. H. W. DOVE. *Zur Erklärung der flatternden Herzen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 402.

1854.

6156. J. J. OPPEL. *Ueber das Phänomen der flatternden Herzen.* Jahresber. d. Frankfurter Vereins 1853—1854. S. 50—52; Hallesche Zeitschr. für Naturwissenschaft. V. S. 319.

6157. W. SCORESBY. *An inquiry into some of the circumstances and principles which regulate the production of pictures on the retina of the human eye with their measure and endurance, their colours and changes.* Phil. Mag. (4.) VII. S. 218—221; VIII. S. 544. Inst. S. 154—156; Proc. of Roy. Soc. VI. S. 380—383. VII. S. 117—122. Athen. S. 1272.

6158. J. M. SEGUIN. *Recherches sur les couleurs accidentelles.* Ann. de Chim. et de Phys. (3.) XLI. S. 413—431.

1855.

6159. S. MARIANINI. *Sur une manière de voir facilement les couleurs accidentelles.* Arch. d. sc. phys. XXX. S. 325; Cimento. I. S. 165.

1856.

6160. VAN BREDÁ. *Eenige waarnemingen over de zoogenaamde nabeelden.* Acad. van Wetenschap. te Amsterdam. afdeel. Natuurk. V. S. 342.

6161. J. M. SEGUIN. *Couleurs accidentelles.* Cosmos. IX. S. 39.

6162. VIERORDT. Arch. f. physiol. Heilkde. Heft 2.

1857.

6163. MELSENS. *Recherches sur la persistance des impressions de la rétine.* Bull. de Bruxelles. (2.) III. 214—252. Cl. d. sc. S. 735—777.

1858.

6164. H. HELMHOLTZ. *Ueber Nachbilder.* Ber. über die 34. Vers. deutscher Naturf. in Carlsruhe. S. 225—226.

6165. — *Ueber die subjectiven Nachbilder im Auge.* Niederrhein. Sitzgs.-Ber. S. 98—100.













6308. L. GROSSMANN. *Ueber reflectorische Hyper- und Anästhesie der Retina.* Wien. med. Presse. 1893. No. 45, 46, 47.
6309. E. HERING. *Offener Brief an Prof. H. Sattler.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. 2. S. 274—290.
6310. C. HESS. *Ueber die Unvereinbarkeit gewisser Ermüdungserscheinungen des Sehorgans mit der Dreifasertheorie.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIX. (2.) S. 45—70.
6311. K. MARBE. *Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen.* Phil. Stud. VIII. S. 615—637.
6312. ROSENBACH. *Die Farbensirene und Bemerkungen über die Entstehung der Farben.* Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. 8. Nov. 1893.
6313. A. SCHAPRINGER. *Zur Theorie der „Flatternden Herzen“.* Zeitschr. f. Psychol. V. 6. S. 385—396.
6314. H. SNELLEN, sen. *Ueber Nachbilder.* Ber. üb. d. XXIII. Vers. d. Ophthalm. Ges. S. 4—11. — Ann. d'Ocul. Bd. 110. S. 241.
6315. J. WIDMARK. *Ueber Netzhautblendung.* Nord. ophthalm. Tidsskr. V. S. 2.
6316. P. ZEEMAN. *Ueber eine subjective Erscheinung im Auge.* Zeitschr. f. Psychol. VI. S. 283—285.

1894.

6317. S. BIDWELL. *On the recurrent images following visual impressions.* Proc. of the roy. Soc. Bd. 56. No. 337. S. 132—145.
6318. H. P. BOSSCHA. *Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 22—42.
6319. C. HESS. *Bemerkung zu dem Aufsatze von Bosscha: „Primäre, secundäre und tertiäre Netzhautbilder nach momentanen Lichteindrücken.“* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 337—338.
6320. — *Studien über Nachbilder.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. Bd. 40. (1.) S. 259—279.
6321. G. MACKAY. *On blinding of the retina by direct sunlight. A study in prognosis (concluded).* Ophthalm. Rev. XIII. S. 1, 41 u. 83.
6322. RALA. *Ueber die Ermüdung der Augen.* Ann. di Ottalm. 1894. 3/4.

## § 24.

## Vom Contraste.

1651.

6323. LEONARDO DA VINCI († 1519). *Trattato della pittura.* Cap. CLVI, CC, CCCXXVIII.

1672.

6324. OTTO V. GUERICKE. *Experimenta nova, ut vocantur, Magdeburgica de vacuo spatio.* Amstelod. S. 142.

1788.

6325. JURIN. *Essay on distinct and indistinct vision.* S. 170.

1748.

6326. G. DE BUFFON. *Sur les couleurs accidentelles.* Mém. de Paris. S. 217.

1752.

6327. MAZEAS. *Observations sur les couleurs engendrées par le frottement des surfaces planes et transparentes.* Mém. de l'Acad. de Berlin.

1757.

6328. VOLTAIRE. *Essay sur l'histoire générale, et sur les mœurs et l'esprit des nations.* Chap. CXLII.

1760.

6329. P. BOUGUER. *Traité d'optique sur la gradation de la lumière.* Paris. S. 368.
6330. MELLVILLE. *Observations on light and colours. Essays and observations.* Phys. and Litt. Edinburgh. II. S. 12 u. 75.



1818.

8. V. PAULA SCHRANK. *Ueber die blauen Schatten*, Abhandl. der Münchener Akad. S. 57.

1820.

9. MUNCKE. *Ueber subjective Farben und gefärbte Schatten*. Schweigger's Journ. XXX. S. 47.

1826.

10. ZSCHOKKE. *Die farbigen Schatten, ihr Entstehen und ihr Gesetz*. Aarau. Unterhaltungsbl. f. Natur- u. Menschenkde. S. 49.

1827.

11. BRANDES. Art.: *Farbe* in Gehler's neuem physik. Wörterb. IV. S. 124.  
12. TRESCHEL. *Sur les ombres colorées*. Biblioth. univers. XXXII. S. 3.

1828.

13. BOURGEOIS. *Sur un nouveau phénomène d'optique*. Bullet. de Férussac. IX. S. 179.

1829.

4. READE. *On the nature of light and shadow, demonstrating that a black shadow can be rarefied, without refraction, into all the colours of the rainbow*. Philos. Mag. N. S. V. S. 109.

1830.

15. HIORT. *De functione retinae*. 2. Theil. §§ 7, 8, 34 u. 35  
6. TOURTUAL. *Ueber die Erscheinungen des Schattens und deren physiologische Bedingungen, nebst Bemerkungen über die wechselseitigen Verhältnisse der Farben*. Berlin.  
7. C. J. LEHOT. *Eine neue Erklärung der zufälligen Farben*. Froriep's Notizen. Bd. XXVIII. S. 177—181.  
8. — *Nouvelle explication des couleurs accidentelles*. Ann. des sc. d'observation par Saigey et Raspail. III. S. 329.

1831.

9. GERGONNE. *Essai théorique sur les couleurs accidentelles*. Ann. de Mathém. pures et appliquées de Gergonne. XXI. S. 284.

1832.

10. SMITH VON FOCHABERS. Edinb. Journ. of Sc. V. S. 52.  
1. D. BREWSTER. *Ueber den Versuch von Smith*. Pogg. Ann. XXVII. S. 494.  
2. E. CHEVREUL. *Sur l'influence, que deux couleurs peuvent avoir l'une sur l'autre, quand on les voit simultanément*. Mém. de l'Acad. de Paris. XI.

1833.

3. OSANN. *Beschreibung einer einfachen Vorrichtung zur Hervorbringung sogenannter complementärer Farben und Nachweisung, daß die hiermit hervorgebrachten Farben objectiver Natur sind*. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 694.

1834.

4. J. MÜLLER. *Lehrbuch der Physiologie*. 2. Aufl. II. S. 372. — Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 144.  
5. J. PLATEAU. Ann. de chim. et de phys. LVIII. S. 339. Pogg. Ann. XXXII. S. 543.

1835.

6. TOMLINSON. *On the theory of accidental and complementary colours, with additional experiments and observations*. Thomson's Records of gen. sc. II. S. 283 u. IV. S. 208. (1836.)

1836.

7. COOPER. *On accidental colours and coloured shadows*. Thomson's Records. IV. S. 427.  
8. OSANN. *Ueber Ergänzungsfarben*. Pogg. Ann. XXXVII. S. 287.  
9. POHLMANN. *Theorie der farbigen Schatten, vollständig entwickelt und durch Versuche begründet*. Pogg. Ann. XXXVII. S. 319—341.  
10. J. PLATEAU. *Berichtigung, veranlaßt durch einen Aufsatz des Herrn Prof. Osann*. Pogg. Ann. XXXVIII. S. 626.

1837.

1. OSANN. *Nachträgliche Bemerkungen zu meinem Aufsatz über Ergänzungsfarben*. Pogg. Ann. Bd. 42. S. 72.

1838.

2. \*G. TH. FECHNER. *Ueber die Frage, ob die sog. Farben durch den Contrast objectiver Natur seien*. Pogg. Ann. XLIV. S. 221—245 u. S. 513.



6408. G. TH. FECHNER. *Einige Bemerkungen gegen die Abhandlung Prof. Osann's über Ergänzungsfarben.* Leipziger Ber. S. 146—165.
6409. OSANN. *Ueber Ergänzungsfarben.* Würzb. Zeitschr. I. S. 61—77.
6410. J. J. OPFEL. *Ueber farbige Schatten bewirkt durch weisses Licht.* Jahresber. d. Frankf. Vereins. 1859—1860. S. 65—69.
6411. E. CHEVREUL. *Remarques sur une question relative à la loi du contraste simultané des couleurs.* Compt. Rend. LI. S. 448.
6412. GOODCHILD. *Trocheidoscope.* Practical mechan. journ. April. S. 4.
6413. MAGRINI. *Sulle ombre colorate studiate dal signor Bassolini.* Atti dell' Istituto Lombardo di sc. lettere ed arti, Milano. II. S. 318 u. 345.
6414. ZÖLLNER. *Ueber eine neue Beziehung der Retina zu den Bewegungen der Iris.* Pogg. Ann. CXI. S. 481 u. 660.
- 1861.
6415. NEWCOMB. *On some illusions and other phenomena attendant on vision through coloured media.* Silliman's Journ. XXXI. S. 418.
6416. ROSSOLINI. *Sulle ombre colorate.* Atti dell' Istit. Lombardo. II. 318—321.
6417. H. AUBERT. *Beiträge zur Physiologie der Netzhaut.* Abh. d. schles. Gesellsch. 1861. 1. S. 49—103. S. 344.
- 1862.
6418. G. TH. FECHNER. *Ueber den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch.* Leipziger Ber. S. 27—56.
- 1863.
6419. F. BURCKHARDT. *Ueber Contrastfarben.* Pogg. Ann. Bd. 118. S. 303.
6420. E. CHEVREUL. *Nouvelles expériences sur le principe du contraste simultané des couleurs et de leur mélange, en réponse à un Mémoire de M. Plateau: Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Compt. Rend. LVII. S. 713.
6421. J. PLATEAU. *Sur un phénomène de couleurs juxtaposées.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XVI. S. 139.
6422. — *Réponse aux observations présentées par M. Chevreul.* Compt. Rend. LVII. S. 1029.
- 1865.
6423. F. BURCKHARDT. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Basler Verhandl. IV. S. 263 bis 285.
6424. E. BRÜCKE. *Ueber Ergänzungs- und Contrastfarben.* Wien. Sitzgs.-Ber. LI. 2. S. 461 bis 501.
- 1866.
6425. F. BURCKHARDT. *Die Contrastfarben im Nachbilde.* Pogg. Ann. Bd. 129. S. 529—548.
- 1867.
6426. A. ROLLET. *Ueber die Aenderung der Farben durch den Contrast.* Wien. Ber. LV. (2.) S. 344—357.
6427. — *Zur Physiologie der Contrastfarben.* Wien. Akad.-Ber. LV. Febr., März- u. Maiheft. S. 741—767.
6428. — *Zur Lehre von den Contrastfarben und dem Abklingen der Farben.* Wien. Ber. Bd. 55. (2.) S. 424—432.
- 1868.
6429. BRAUN. *Photographies de feuillage, et couleurs de contraste.* Les Mondes (2.) XVII. S. 62.
- 1869.
6430. G. TH. FECHNER. *Ueber die Contrastempfindung.* Ber. d. königl. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-physik. Kl. Sitzung v. 1. Juli.
6431. W. BENSON. *Contrast and admixture of colours.* Scient. Americ. XX. S. 257—258.
- 1870.
6432. L. HERMANN. *Die Erscheinung simultanen Contrastes.* Pflüger's Arch. f. Physiol. III. S. 13—15.
- 1871.
6433. J. K. BECKER. *Zur Lehre von den subjectiven Farbenercheinungen.* Pogg. Ann. Ergänzungs. V. S. 305.
6434. H. W. DOVE. *Ueber die subjectiven Farben an den Doppelbildern farbiger Glasplatten.* Pogg. Ann. CXLIII. S. 491. Berl. Akad.-Ber. April.









6509. W. HAIDINGER. *Beobachtung der Lichtpolarisationsbüschel auf Flächen, welche das Licht in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen polarisiren.* Pogg. Ann. LXVIII. S. 305.
6510. SILBERMANN. *Essai d'explication des houppes ou aigrettes visibles à l'oeil nu dans la lumière polarisée.* Compt. Rend. XXIII. S. 624. Inst. No. 665. S. 327. 1847.
6511. V. ERLACH. *Mikroskopische Beobachtungen über organische Elementartheile bei polarisirtem Licht.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 313.
6512. W. HAIDINGER. *Helle Andreaskreuslinien in der Sehaxe.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. II. S. 178. Pogg. Ann. LXX. S. 403.
6513. BOTZENHART. *Polarisationsbüschel am Quarz.* Ber. d. Freunde d. Naturwiss. in Wien. I. S. 82.
6514. — *Sur une modification des houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXIV S. 44. Inst. No. 680. S. 11. Pogg. Ann. LXX. S. 899. 1848.
6515. JAMIN. *Sur les houppes colorées de Haidinger.* Compt. Rend. XXVI. S. 197. Pogg. Ann. LXXIV. S. 145. Inst. No. 787. S. 53. 1850.
6516. D. BREWSTER. *On the polarizing structure of the eye.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep. of British Assoc. II. S. 5. Wien. Ber. V. S. 442.
6517. G. G. STOKES. *On Haidinger's brushes.* Sill. Journ. (2.) X. S. 394. Rep. of British Assoc. II. S. 20.
6518. W. HAIDINGER. *Das Interferenzschachbrettmuster und die Farbe der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. VII. S. 389. Pogg. Ann. LXXXV. S. 350. Cosmos. I. S. 252. 454. 1852.
6519. W. HAIDINGER. *Die Loew'schen Ringe eine Beugungserscheinung.* Wien. Ber. IX. S. 240—249. Pogg. Ann. LXXXVIII. S. 451—461. 1854.
6520. A. BUROW. *Der gelbe Fleck im eigenen Auge sichtbar.* J. Müller's Arch. S. 166.
6521. W. HAIDINGER. *Dauer des Eindrucks der Polarisationsbüschel auf der Netzhaut.* Wien. Ber. XII. S. 678—680. Pogg. Ann. XCIII. S. 318—320.
6522. — *Beitrag zur Erklärung der Farben der Polarisationsbüschel durch Beugung.* Wien. Ber. XII. S. 3—9. Pogg. Ann. XCI. S. 591—601.
6523. — *Einige neuere Ansichten über die Natur der Polarisationsbüschel.* Wien. Ber. XII. S. 758—765. Pogg. Ann. XCVI. S. 314—322.
6524. G. G. STOKES. *Ueber das optische Schachbrettmuster.* Wien. Ber. XII. S. 670—677. Pogg. Ann. XLVI. S. 305—313. 1855.
6525. H. MEYER. *Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof, sowie Beiträge zu „Unempfindlichkeit der Netzhaut in der Nähe starker Lichteindrücke“, „Mondhöfe“, „Löwe'sche Ringe“ u. s. w.* Pogg. Ann. Bd. 96. S. 235. 1856.
6526. J. C. MAXWELL. *On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours.* Athen. S. 1093. Edinb. Journ. (2.) IV. S. 337. Inst. S. 444. Rep. of Brit. Assoc. II. S. 12. 1857.
6527. F. W. PIEPER. *De phantasmatibus nervi optici.* Halle. 1858.
6528. POWER. *Philos. Mag.* (4.) XVI. S. 69. 1859.
6529. D. BREWSTER. *Compt. Rend.* XLVIII. S. 614. — *Pogg. Ann.* Bd. 107. S. 346.
6530. H. MÜLLER. *Ueber die elliptischen Lichtstreifen von Purkinje.* Verhandl. der Würzburger phys.-med. Ges. IX. S. 30. 1860.
6531. J. CZERMAK. *Ueber die entoptische Wahrnehmung der Stäbchen- und Zapfenschicht.* Wien. Ber. XLI. S. 644—648. 1861.
6532. J. CZERMAK. *Zur objectiven Erklärung einiger sogenannten subjectiven Gesichtserscheinungen.* Wien. Ber. XLIII. (2.) S. 163—174.



6559. A. RICCÒ. *Fenomeno di colorazione soggettiva prodotto dalla luce palpebrale*. Ann. di Ottalm. XIII. S. 452.

1885.

6560. D. GOYDER. *On a peculiar retinal light and its probable cause*. Med. Press. & Circ. XXXVIII. S. 4.

6561. AD. OLSHAUSEN. *Entoptische Untersuchung eines centralen Blendungs-Scotoms nebst einigen die Macula lutea betreffenden anatomischen und physiologischen Beobachtungen und Betrachtungen*. Diss. Halle.

1886.

6562. J. COLASANTI und G. MENGARINI. *Il fenomeno spectrale fisiologico*. Lincei Mem. (4.) III. S. 65—77.

6563. CROSS. *Abnormal visual sensations*. Americ. Journ. of the med. sc. No. 184. S. 415.

6564. S. EXNER. *Zwei subjective Erscheinungen im Gebiete des Gesichtssinnes*. Protok. d. Sitzg. d. chem.-phys. Ges. zu Wien vom 8. Dec. 1885.

6565. RAMPOLDI. *Sopra un fenomeno visivo suscitato dalla atropina; osservazioni e sperimenti*. Ann. univ. di med. e chir. CCLXXV. S. 113.

1887.

6566. C. ADDARIO. *Su di una imagine endottica intraretinica*. Ann. di Ottalm. XVI. S. 476.

6567. A. CHARPENTIER. *Quelques phénomènes entoptiques*. Arch. d'Ophthalm. VII. S. 209.

1888.

6568. C. ADDARIO. *Sul significato anatomico di una immagine endottica a mosaico d'esagoni*. Ann. di Ottalm. XVII.

6569. J. COLASANTI und G. MENGARINI. *Das physiologische Spectralphänomen*. Moleschott's Unters. zur Naturl. XIII. 6. S. 451.

6570. R. GEIGEL. *Ueber Reflexion des Lichtes im Innern des Auges und einen neuen Versuch zur Erklärung der Haidinger'schen Polarisationsbüschel*. Wiedemann's Ann. XXXIV. S. 347—361. — Sitzgs.-Ber. d. Würzb. phys.-med. Ges.

1889.

6571. RAMPOLDI. *Sopra un fenomeno subiettivo della visione*. Ann. di Ottalm. XVIII. 6. S. 487.

1890.

6572. A. CHARPENTIER. *Caloration entoptique du champ visuel en pourpre violet*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. 6. Juni. S. 310.

6573. J. LE CONTE. *On a Curious Visual Phenomenon*. Americ. Journ. of Psychol. III. S. 364—366.

1892.

6574. E. BAQUIS. *Alcuni fenomeni subiettivi della visione*. Ann. di Ottalm. XXI. — Ann. d'ophthalm. XII. 5. S. 274.

6575. G. L. JOHNSON. *Bemerkungen über die Macula lutea*. Arch. f. Augenheilkde. XXV. S. 157—175.

1898.

6576. M. KUPFER. *Flimmerskotom und entoptische Erscheinungen*. Diss. Erlangen. 91 S.

1894.

6577. TSCHIRIEW. *Eine neue entoptische Erscheinung*. Wjestnik Ophthalm. No. 6.



6601. J. DASTICH. *Ueber die neueren physiologisch-psychologischen Forschungen im Gebiete der menschlichen Sinne.* Prag.  
1866.
6602. H. ULRICH. *Gott und der Mensch. I.: Leib und Seele, Grundsätze einer Psychologie des Menschen.* Leipzig.  
1868.
6603. E. LEYDEN. *Ueber die Sinneswahrnehmungen.* Berlin.  
1871.
6604. A. VERSTRATE. *Note sur la question de savoir de quelle manière nous acquérons par la vue la connaissance des corps.* Bull. de Brux. XXXII. (2.) S. 155.  
1872.
6605. ZÖLLNER. *Die Theorie der unbewußten Schlüsse in ihrer Anwendung auf die Gesichtswahrnehmungen.* S. 378 seines Werkes: *Ueber die Natur der Kometen.* Leipzig.  
1873.
6606. C. STUMPF. *Ueber den physiologischen Ursprung der Raumvorstellung.* Leipzig. 324 S.  
1876.
6607. O. LIEBMANN. *Zur Analysis der Wirklichkeit.* Daraus: *Zur Theorie des Sehens.* S. 128—169. Straßburg, Trübner.  
1877.
6608. S. STRICKER. *Untersuchungen über das Ortsbewußtsein und dessen Beziehungen zu der Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3. Abth.)  
1878.
6609. DÖNHOF. *Ueber angeborene Vorstellungen bei den Thieren.* Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 387.
6610. H. HELMHOLTZ. *Die Thatfachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Univers. Programm.
6611. S. STRICKER. *Untersuchungen über das Ortsbewußtsein und dessen Beziehungen zur Raumvorstellung.* Wien. Sitzgs.-Ber. LXXVI. (3.) Nov.-Heft.  
1879.
6612. H. HELMHOLTZ. *Die Thatfachen in der Wahrnehmung.* Berlin, Hirschwald. 68 S.
6613. E. JÄSCHE. *Das räumliche Sehen.* Stuttgart, Enke. 130 S.
6614. P. R. SCHUSTER. *Giebt es unbewußte und vererbte Vorstellungen?* Herausgeb. von Zöllner. Leipzig. 83 S.  
1880.
6615. BIBART. *Une expérience d'optique physiologique.* Journ. de phys. IX. S. 199—200.
6616. DUFOUR. *Sur l'expérience des sens.* Bull. de la soc. méd. de la Suisse Romande.  
1881.
6617. F. CELLER. *Ueber Gesichtswahrnehmungen.* Presb. Verhandl. 1875—1880. S. 21—60.  
1882.
6618. E. v. FLEISCHL. *Localzeichen und Organgefühle.* Med. Jahrb. S. 91.
6619. — *Physiologisch-optische Notizen.* 1. Mittheilung. Sitzgs.-Ber. d. k. Acad. d. Wiss. LXXXIII. 3. Abth. (Sitzg. v. 17. März 1881.)
6620. A. GENZMER. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen der neugeborenen Menschen.* Halle. 28 S.  
1883.
6621. L. BORTHEN. *Einige Bemerkungen über Wahrnehmung und Vorstellung.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 451.  
1884.
6622. TH. LOEWY. *Die Gemein-Ideen des Gesichts- und Tastsinnes.* Leipzig 1884. — Philos. Mag. (5.) XVII. S. 403—406.  
1886.
6623. H. DE VARIGNY. *Le développement des sens, chez l'enfant, d'après M. Preyer.* Rev. Scientif. XXXVIII. S. 401.  
1887.
6624. J. JASTROW. *Die Wahrnehmung des Raumes durch verschiedene Sinne.* John's Hopk. Univ. Circul. VI. S. 53.  
1888.
6625. CH. DUNAN. *L'espace visuel et l'espace tactile.* Rev. Philos. XIII. 2. S. 134.
6626. E. REHFISCH. *Sinneswahrnehmung und Sinnestäuschung.* Berlin, Fried & Co.
6627. G. K. UPHUES. *Wahrnehmung und Empfindung.* Leipzig, Duncker & Humblot. 289 S.





6653. TH. RUETE. *Das Ophthalmotrop.* S. 9. Göttingen.

6654. F. C. DONDERS. *Nederl. Lancet.* August.

6655. A. W. VOLKMANN. Artikel: *Sehen* in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. S. 337 bis 358. S. 281—290.

1847.

6656. F. C. DONDERS. *Beitrag zur Lehre von den Bewegungen des menschlichen Auges.* Holländ. Beitr. z. d. anat. und physiol. Wiss. I, S. 104—145; 384—386.

1848.

6657. F. C. DONDERS. *Noch etwas über Hueck's vermeintliche Axendrehung des Auges.* Holl. Beiträge. I. S. 384.

1854.

6658. G. MEISSNER. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* Leipzig.

6659. CZERMAK. *Ueber Abhängigkeit der Accommodation und Convergence.* Wien. Ber. XII. S. 337—358; XV. S. 438—454.

6660. A. FICK. *Die Bewegungen des menschlichen Augapfels.* Zeitschr. f. rat. Med. IV. S. 801.

1855.

6661. G. MEISSNER. *Zur Lehre von den Bewegungen des Auges.* Arch. f. Ophthalm. II. (1.) S. 1—123.

1856.

6662. G. MEISSNER. *Jahresbericht über die Fortschritte der Physiologie.* Zeitschr. f. ration. Med. 1856 und die folgenden Jahrgänge.

1857.

6663. TH. RUETE. *Ein neues Ophthalmotrop.* Leipzig.

1858.

6664. A. FICK. *Neue Versuche über die Augenstellungen.* Moleschott's Unters. z. Naturlehre d. Menschen. V. S. 193.

1859.

6665. G. MEISSNER. *Ueber die Bewegungen des Auges, nach neuen Versuchen.* Zeitschr. f. rat. Med. (3.) VIII. S. 1.

6666. F. v. RECKLINGHAUSEN. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127.

6667. W. WUNDT. *Ueber die Bewegungen des Auges.* Verhandl. d. nat.-med. Ver. zu Heidelberg.

1860.

6668. H. AUBERT. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links.* Virchow's Arch. XX. S. 381.

1862.

6669. W. WUNDT. *Ueber die Bewegungen der Augen.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 1—87.

6670. — *Beschreibung eines künstlichen Augenmuskelsystems zur Untersuchung der Bewegungsgesetze des menschlichen Auges im gesunden und kranken Zustande.* Arch. f. Ophthalm. VIII. (2.) S. 88—114.

6671. F. C. DONDERS und D. DOJER. *Die Lage des Drehpunktes des Auges.* Arch. f. d. Holländ. Beitr. III. S. 560. — Derde Versl. Gast. v. Oogl. S. 209.

1863.

6672. H. HELMHOLTZ. *Ueber die Bewegungen des menschlichen Auges.* Verhandl. d. Naturhist. med. Ver. zu Heidelberg. Bd. III. S. 62—67.

6673. — *Ueber die normalen Bewegungen des menschlichen Auges.* Arch. f. Ophthalm. IX. (2.) S. 153—214.

6674. E. HERING. *Beiträge zur Physiologie.* 3. u. 4. Heft. Leipzig. (Kritisches gegen Meissner u. Helmholtz.)

6675. J. B. SCHUURMAN. *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog bij Emmetropie en Ametropie.* Dissert. Utrecht. — Vijde Versl. Gast. v. Oogl. 1864. S. 1.

1864.

6676. H. HELMHOLTZ. *On the normal motions of the human eye in relation to binocular vision.* Proc. of London Roy. Soc. Vol. XIII. S. 186—199.

6677. GIRAUD-TEULON. *Compt. Rend.* LVIII. S. 361 (über Drehpunkt).

6678. E. HERING. *Die sog. Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick.* Reichert's und du Bois' Arch. S. 278.



6704. M. WOINOW. *Ueber die Raddrehungen des menschlichen Auges.* (Russisch.) Sitzgs.-Ber. d. phys.-med. Ges. in Moskau. XII.
6705. — *Ueber den Drehpunkt des Auges.* Arch. f. Ophthalm. XVI. (1.) S. 243. 1871.
6706. G. F. W. BAEHR. *Sur le mouvement de l'oeil.* Arch. néerl. VI. S. 127—161.
6707. E. BERLIN. *Beitrag zur Mechanik der Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2.) S. 154. — Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 545. (Vorl. Mitth.)
6708. E. HITZIG. *Ueber die beim Galvanisiren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellungen vom Verhalten im Raume.* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 716—770.
6709. — *Weitere Untersuchungen zur Physiologie des Gehirns.* Reichert u. du Bois-Reymond's Arch. S. 771—772. — Berl. klin. Wochenschr. 1872. S. 504.
6710. J. MANNHARDT. *Ueber das Convergenzvermögen, dessen Leistungen, Bedingungen und Wirkungen.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 429—437.
6711. J. J. MÜLLER. *Ueber den Einfluss der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension.* Ber. d. sächs. Gesellsch. d. Wiss. 6. Mai 1871. S. 125—134.
6712. A. NAGEL. *Ueber das Vorkommen von wahren Rollungen des Auges um die Gesichtslinie.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (1.) S. 237.
6713. SAVARY. *De l'esprit d'observation dans les sciences médicales appliqué à l'étude de la physiologie des muscles de l'oeil et des paralysies musculaires.* Thèse de Paris.
6714. A. SKREBITZKY. *Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 1. S. 107.
6715. M. WOINOW. *Beiträge zur Lehre von den Augenbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XVII. 2. S. 233.
6716. — *Ueber die Raddrehung des Auges.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 387—391. 1872.
6717. W. DOBROWOLSKY. *Ueber Rollung der Augen bei Convergenz und Accommodation.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (1.) S. 53—66.
6718. F. C. DONDEES. *Ueber angeborene und erworbene Association.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. 2. S. 153—164.
6719. FANO. *Note sur les fonctions du muscle grand oblique de l'oeil.* Union médicale, 31 août. Journ. d'Opht. S. 528.
6720. v. HASNER. *Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung.* Prager Vierteljahrsschr. Bd. IV. S. 114—128.
6721. KOSTAREFF. *De la rotation de l'oeil sur l'axe optique.* Inaug.-Diss. Moscou.
6722. LE CONTE. *Rotation of the eye on the optic axis.* Americ. Journ. of sc. and arts. II. Ser. Vol. 47. S. 153—168.
6723. J. SAMELSOHN. *Zur Frage von der Innervation der Augenbewegungen.* Arch. für Ophthalm. XVIII. (2.) S. 142—152. 1873.
6724. A. CHODIN. *Zur Lehre vom Drehpunkte in Augen verschiedener Refraction.* (Russisch.) Diss. Petersburg.
6725. F. C. DONDEES. *Versuch einer genetischen Erklärung der Augenbewegungen.* Pflüger's Arch. VIII. S. 373.
6726. — *De primaire standen van het oog: a) voor evenwijdige, b) voor convergente blicklijnen.* Onderzoekingen ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. II. S. 380. — Nederl. Gasthuis v. oogl. S. 8—13.
6727. A. GENZMER. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Inaug.-Diss. Halle.
6728. J. v. HASNER. *Ueber den Seitenblickwinkel.* Wien. med. Wochenschr. No. 21.
6729. — *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges etc. Die Applicationsgesetze der monocularen Bewegung, Theorie der parallelen Blicklinien.* S. 15—39.
6730. L. HERMANN. *Ein Apparat zur Demonstration der aus dem Listingschen Gesetz folgenden scheinbaren Raddrehungen.* Pflüger's Arch. VIII. S. 305—306.
6731. E. HITZIG. *Zur Physiologie des Gehirns.* Berliner med. psych. Ges. 7. Juli 1873. Berl. Klin. Wochenschr. No. 52. S. 621.
6732. M. WOINOW. *Augenbewegungen.* (Russisch.) St. Petersburg. 1874.
6733. J. BREUER. *Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths.* Med. Jahrbücher der Wiener Aerzte. S. 72—124.



## 1877.

6761. F. C. DONDERS. *Essai d'une explication génétique des mouvements oculaires.* (Suite.) Annal. d'Oculist. T. 77. S. 5 u. 97.
6762. FÉREOL. *Association synergique des deux yeux, persistant malgré la paralysie de la sixième paire d'un côté.* Gaz. des hôp. No. 90. 93. 98.
6763. A. GRAEFE. *Ophthalmotrop.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.
6764. LABORDE. *L'influence du bulbe rachidien sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. No. 3 u. 5.
6765. LABORDE, DUVAL u. GRAUX. *Sur quelques points de la physiologie du bulbe rachidien.* Gaz. des hôp. S. 142.
6766. MERCIER. *Independent movements of the eyes under chloroform.* Brit. med. Journ. No. 845.
6967. W. NICATI. *Méthode pour mesurer le champ du regard: Le Tropopérimètre.* Gaz. Méd. de Paris. S. 324. — Gaz. d. Hôpit. S. 556.
6768. E. RÄHLMANN u. L. WITKOWSKY. *Ueber atypische Augenbewegungen.* du Bois-Reymond's Arch. S. 454.
6769. WARNER. *Loss of associated movements of the eyes under chloroform and in disease.* Brit. med. Journ. No. 845.
6770. W. v. ZEHENDER. *Methode, die Distanz der Augendrehpunkte mit Hilfe der sogenannten Tapetenbilder zu bestimmen.* Amtl. Ber. d. 50. Vers. d. Naturf. u. Aerzte zu München. S. 332.

## 1878.

6771. M. DUVAL. *Zusatz zu der Abhandlung von Laborde: Influence du bulbe etc.* Gaz. méd. de Paris. S. 632.
6772. LABORDE. *Influence du bulbe sur les mouvements associés des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 28.
6773. SANDER. *Ueber die Beziehungen der Augen zum wachenden und schlafenden Zustand des Gehirns und über ihre Veränderungen bei Krankheiten.* Arch. f. Psych. IX. S. 129.
6774. SCHWAHN. *Ueber das Schielen nach Verletzungen in der Umgebung des kleinen Gehirns.* Eckhardt, Beiträge zur Anat. u. Physiol. VIII. (3.) S. 149.
6775. SIEMENS. *Zur Lehre vom epileptischen Schlaf und vom Schlaf überhaupt.* Arch. f. Psych. IX. (3.) S. 72.

## 1879.

6776. H. BIESINGER. *Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Accommodation und Convergenz der Blicklinien.* Inaug.-Diss. Tübingen. Abgedruckt in Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klinik in Tübingen. Heft 1. S. 58.
6777. DUVAL. *Sur l'innervation des mouvements conjugués des yeux.* Gaz. méd. de Paris. S. 389.
6778. — *Der wahre Ursprung der motorischen Nerven des Auges.* Gaz. hebdom. No. 27.
6779. CL. GALLOPAIN. *Le Pli Courbe n'est ni le siège de la perception des impressions visuelles ni le centre des mouvements des yeux.* Ann. méd.-psychol. (6.) II. 2. S. 177—188.
6780. E. HERING. *Ueber Muskelgeräusche des Auges.* Wien. Akad. Ber. 79. III. Abth.
6781. — *Physiologie des Gesichtssinnes. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.* Hermann's Handbuch der Physiol. III. (1) S. 343.
6782. A. NAGEL. *Zusätzliche Bemerkungen zu der Arbeit von Dr. Biesinger.* Nagel's Mittheil. aus der ophthalmiatr. Klin. in Tübingen. Heft 1. S. 108.
6783. L. WITKOWSKI. *Ueber einige Bewegungserscheinungen am Auge.* Arch. f. Psychiatr. IX. S. 443.

## 1880.

6784. ABADIE. *Note sur l'appui de l'hypothèse de M. Landouzy sur l'existence d'un contre-rotateur des yeux.* Prog. méd. No. 4.
6785. DUVAL u. LABORDE. *De l'innervation des mouvements associés des globes oculaires.* Journ. d'anat. et de physiol. XVI. S. 65.
6786. GIRAUD-TEULON. *Analyse critique de „l'essai d'une explication génétique des mouvements oculaires“ du professeur Donders.* Arch. d'ophthalm. Sept.-Oct. — Prog. méd. No. 38. — Gaz. méd. No. 38.
6787. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision.* Sillim. Journ. (3.) XX. S. 83.



1888.

6813. A. CHARPENTIER. *Influence inhibitoire de l'excitation de la rétine sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie. V. No, 26. S. 596.
6814. — *Influences diverses sur la contraction des muscles de l'oeil.* Compt. rend. de la société de biologie V. No. 27. S. 621.
6815. A. GRAEFE. *Die Thätigkeit der geraden inneren Augenmuskeln bei den associirten Seiten- und den accommodativen Konvergenzbewegungen der Augen.* Ber. des VII. internat. Ophthalmologen-Congresses zu Heidelberg. S. 30.
6816. F. D. A. C. VAN MOLL. *Over afwezigheid van rollbeweging bij zijdelingsche blick richting.* Feestbundel, Donder's Jubiléum. S. 1.
6817. G. C. SAVAGE. *The harmonious non-symmetrical action of the oblique muscles explains binocular astigmatism.* Americ. Journ. of Ophthalm. S. 245.
6818. M. TSCHERNING. *Quelques conséquences de la loi de Listing.* Ann. d'Oculist. Bd. 100. S. 101.

1889.

6819. BENZLER. *Ein Fall von essentieller Convergenzlähmung.* Deutsche militärärztliche Zeitschr. No. 7. S. 301.
6820. J. B. LAWFOED. *Congenital hereditary defect of ocular movements.* Transact. of the ophthalm. soc. VIII. S. 262.
6821. MARLOW. *The position of rest as a cause of strabismus.* Ophthalm. Rev. S. 362.
6822. G. SECONDI. *Valori di A e di A<sub>2</sub> nei vari gradi del campo di sguardo quando ricercati nel piano orizzontale.* Ann. di Ottalm. XVIII. S. 117.
6823. L. WINTERNITZ. *Ein Diagramm als Beitrag zur Orientirung über die Wirkungsweise der Augenmuskeln und die Ausfallserscheinungen bei Lähmung derselben.* Wien. klin. Wochenschr. No. 11.

1890.

6824. M. KNIES. *Ueber die centralen Störungen der willkürlichen Augenmuskeln.* Arch. f. Augenheilkde. XXXII. S. 19—51.
6825. MOTT. *Augenbewegungen.* Brit. Med. Journ. No. 1538. Oesterr.-Ung. Centralbl. f. med. Wiss. No. 19. S. 344.
6826. H. MUNK. *Sehsphäre und Augenbewegungen.* Sitzgs.-Ber. d. Akad. d. Wiss. in Berlin. III. S. 53—74.
6827. OBREGIA. *Ueber Augenbewegungen auf Sehsphärenreizung.* Arch. f. Physiol. S. 206.
6828. STEVENS. *Die Anomalien der Augenmuskeln. Zweiter Theil.* Arch. f. Augenheilkde. XXI. S. 335.

1891.

6829. V. BRAVAIS. *Du mouvement des yeux dans la lecture.* Lyon méd. 29. Nov.
6830. FERRI. *Ueber die Axenrotation des Auges bei Seitwärtsneigung des Kopfes.* Giorn. dell' Acc. di Med. de Torino. H. 1—4.
6831. M. HERZ. *Die Bulbuswege und die Augenmuskeln.* Pflüger's Arch. XLVIII. S. 385—417.
6832. M. HORNEMANN. *Zur Kenntniß der Blickfeldbestimmung. Beiträge zur Methode der Blickfeldbestimmung, sowie perimetrische Messungen von monoculären Augenbewegungen im horizontalen und verticalen Meridian.* Diss. Halle.
6833. E. LANDOLT. *Beitrag zur Physiologie der Augenbewegungen.* Heidelberger Helmholtz-Festschr. S. 65—68.
6834. — *Nouvelles recherches sur la physiologie des mouvements des yeux.* Arch. d'Ophthalm. XI. S. 385—396.
6835. REY. *Etude sur le centre de rotation de l'oeil humain.* Thèse de Toulouse.
6836. G. C. SAVAGE. *The harmonious symmetrical action of the oblique muscles in all cases of astigmatism.* Ophthalm. Rec. I. S. 1.
6837. — *Insufficiency of the oblique muscles.* Arch. of Ophthalm. XX. S. 105—107.

1892.

6838. BUMSTEAD. *A new test for the ocular muscles.* Ann. of Ophthalm. and Otology. I. S. 84.
6839. L. FERRI. *Schema rappresentativa delle azioni fisiologiche dei muscoli oculari e loro diplopia paralitiche.* Ann. di Ottalm. XXI. S. 65.
6840. FERRIER. *De l'action des muscles obliques.* Ann. d'Oculist. CVII. S. 92.
6841. WIEBS. *Ueber die Ruhestellung der Augen.* Groningen.





1786.

6866. GRANT. *Nachricht von den Erscheinungen nach der Operation eines Staars an einem Blindgeborenen.* Voigt's Mag. f. d. Physik u. Naturgeschichte. IV. (1.) S. 21.

1801.

6867. J. WARE. *Case of a young gentleman who recovered his sight when seven years of age.* Philos. Trans. XCI. S. 382—396.

1807.

6868. HOME. Philos. Transact. P. I. — Bibl. Brit. XXXVII. S. 85. 1808.

1811.

6869. STEINBUCH. *Beiträge zur Physiologie der Sinne.*

1812.

6870. J. C. HOFFBAUER. *Psychologisch-optische Beobachtungen und Versuche, auch zur Bestätigung der Cheselden'schen Beobachtungen an Blindgeborenen, die zum Gesichte gelangt sind, mitgetheilt.* Reil und Hoffbauer, Beiträge zur Beförderung einer Kurmethode auf psychischem Wege. Halle. Bd. II. S. 249—277.

1826.

6871. J. MÜLLER. *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig. 1.

6872. J. WARDROP. *Case of a lady, born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil.* Philos. Trans. III. S. 529—540.

1827.

6873. TOURTUAL. *Die Sinne des Menschen.* Münster.

1834.

6874. C. M. N. BARTELS. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Berlin.

1836.

6875. A. W. VOLKMANN. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns.* Leipzig.

1840.

6876. J. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie des Menschen.* Coblenz. Bd. II. S. 362.

1841.

6877. FRANZ. Philos. Transact. VI. S. 529.

1847.

6878. TRINCHINETTI. *Observations sur les premières impressions visuelles, aperçues par deux aveugles de naissance après l'opération de la cataracte.* Arch. d. sciences phys. et nat. VI. S. 336; Giorn dell' istituto Lombardo, fasc. 46 e 47.

1849.

6879. WALLER. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature.* Inst. XVII. No. 787. S. 39.

1851.

6880. E. H. WEBER. *Programmata collecta.* Fasc. III. — *Ueber den Tastsinn und das Gemeingefühl.* S. 559 in R. Wagner's Wörterb. d. Physiol.

6881. A. FICK. *De errore quodam optico assymetria bulbi effecto.* Marburg. (Im Ausz. Zeitschr. f. rat. Med. (2.) II. S. 83.

1852.

6882. KNIE. *Erinnerungen einer Blindgeborenen.* Breslau.

6883. E. H. WEBER. *Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge.* Ber. d. sächs. Soc. S. 85 ff.

1853.

6884. E. H. WEBER. *Ueber Gröfse, Lage und Gestalt des sog. blinden Flecks im Auge und die davon abhängigen Erscheinungen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 149—158; Fechner's Centralbl. S. 929—941.

6885. A. FICK und P. DU BOIS REYMOND. *Ueber die unempfindliche Stelle der Netzhaut im menschlichen Auge.* Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 396—407; — Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

6886. A. W. VOLKMANN. *Ueber einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen.* Ber. d. sächs. Soc. S. 27—50. Fechner Centralbl. 1854. S. 57—72.

1854.

6887. J. CZERMAK. *Ueber die unempfindliche Stelle der Retina im menschlichen Auge.* Wien. Ber. XII. S. 358—364.

1855.

6888. J. J. OPPEL. *Ueber geometrisch-optische Täuschungen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1854—55. S. 37—47.



1869.

6916. M. WOINOW. *Ueber das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung.* Arch. f. Ophthalm. XV. (2.) S. 155—166.

1873.

6917. A. A. G. GUJE. *Over onbewuste besluiten en eene opmerking omtrent de pseudoscopish figuur van Zöllner.* Maandbl. voor Naturwetensch. No. 6.

1875.

6918. S. EXNER. *Ueber das Sehen von Bewegungen und die Theorie des zusammengesetzten Auges.* Wien. Acad. Ber. (3.) 72. S. 156—190.

6919. A. v. HIPPEL. *Beobachtungen an einem mit doppelseitiger Cataract geborenen, erfolgreich operirten Kinde.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 2. S. 101—131.

6920. J. HIRSCHBERG. *Eine Beobachtungsreihe zur empiristischen Theorie des Sehens.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 1. S. 23—42.

6921. SCHNELLER. *Studien über das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 133—198.

6922. H. MESSER. *Ueber Täuschungen des Augenmaßes.* Diss. Würzburg. 34 S.

6923. — *Notiz über die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmaß.* Pogg. Ann. CLVII. S. 172—175.

1876.

6924. A. BARTOLI. *Sulla sensibilità dell' occhio nella valutazione dei rapporti di grandezza delle lunghezze e degli angoli e sulla legge psico-fisica di Fechner.* Nuovo Cimento. Ser. II. Vol. XVI.

6925. DUFOUR. *Guérison d'un aveugle-né. Observation pour servir à l'étude des théories de la vision.* Bull. de la Soc. med. de la Suisse rom. Separat. Lausanne.

6926. F. KÜSTER. *Die Directionskreise des Blickfeldes.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 1. S. 149—210. Utrecht'sche Onderzoekingen, Derde R. IV. S. 114—180. — XVII. Versl. van het Nederl. Gasthuis etc. S. 137—203.

6927. RECORDON. *Guérison d'un aveugle-né.* Bull. de la Soc. méd. de la Suisse romande.

6928. SCHNELLER. *Ergänzung zu den Studien über das Blickfeld.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. 4. S. 136—146.

1877.

6929. A. CHODIN. *Ist das Weber-Fechner'sche Gesetz auf das Augenmaß anwendbar?* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXIII. 1. S. 92—108.

1878.

6930. L. FIALLA. *Guérison de six aveugles-nés.* Bukarest, Thiel & Weiss.

1879.

6931. HEUSE. *Noch einmal das Zöllner'sche Muster.* Arch. f. Ophthalm. XXV. 1. S. 116.

1880.

6932. W. HOLTZ. *Ueber eine Augentäuschung beim Anblick geometrischer Figuren.* Wiedemann's Ann. X. S. 158—160.

6933. L. MAUTHNER. Wien. med. Wochenschr.

6934. CH. MONTIGNY. *Différence des appréciations de la grandeur apparente des images microscopiques par divers observateurs.* Bull. de l'Acad. Roy. Belg. (2.) XLIX. S. 670 bis 678.

1881.

6935. BADAL. *Micropsie, macropsie et metamorphopsie rétinienne.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 182—185.

6936. A. CHARPENTIER. *Täuschungen in der Abschätzung der GröÙe.* Compt. Rend. XCIII. S. 791—793.

6937. — *Illusion relative à la grandeur et à la distance des objets dont on s'éloigne.* Compt. Rend. 21. März.

6938. R. SCHIRMER. *Makropsie und Mikropsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. VIII. S. 525.

1882.

6939. E. v. FLEISCHL. *Localzeichen und Organgefühle.* Med. Jahrb. S. 91.

6940. L. MEYER. *Blindgeborene.* Deutsch. med. Wochenschr. S. 177.

6941. STÖBER. *Sur le champ visuel.* Mém. Soc. de méd. de Nancy. (1880—1881.) LXVI.

6942. R. SCHIRMER. *Metamorphopsie.* Eulenburg's Real-Encykl. d. ges. Heilkde. IX. S. 28.



6969. J. DELBOEUF. *Sur une nouvelle illusion d'optique*. Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) XXIV. S. 545—558.
6970. A. GRAFÉ. *Note sur un aveugle de naissance opéré de la cataracte à l'âge de quinze ans*. Rev. scientif. Bd. L. S. 67—75.
6971. J. JASTROW. *On the judgment of angles and positions of lines*. Americ. Journ. of Psychol. V. 2. S. 214—248.
6972. TH. LIPPS. *Optische Streitfragen*. Zeitschr. f. Psychol. III. S. 493—504.
6973. C. STUMPF. *Zum Begriff der Localzeichen*. Zeitschr. f. Psychol. IV. S. 70—73.  
1898.
6974. W. HOLTZ. *Ueber den unmittelbaren Größeneindruck in seiner Beziehung zur Entfernung und zum Contrast*. Göttinger Nachrichten. S. 159—167.  
1894.
6975. F. AUERBACH. *Erklärung der Brentano'schen optischen Täuschung*. Zeitschr. f. Psychol. VII. S. 152—160.
6976. V. FRANKE. *Das Sehenlernen eines 26jährigen intelligenten Blindgeborenen*. Deutschmann's Beitr. z. Augenheilkde. H. 16. S. 1.

## § 29.

## Die Richtung des Sehens.

Ueber optische Täuschungen findet sich weitere Litteratur in § 28.

- 1604.
6977. KEPLER. *Ad Vitellionem Parapomena*. S. 169; 285; 69—70.
- 1619.
6978. SCHEINER. *Oculus*. Oenipontii. S. 192.
- 1637.
6979. DESCARTES. *Dioptrice*. Leyden. S. 68.
- 1667.
6980. HONORATUS FABRI *Synopsis optica*. Lugduni.
- 1709.
6981. BERKELEY. *Essay towards a new theory of vision*.  
1740.
6982. LE CAT. *Traité des sens*. Rouen.
6983. WEDEL. *Ueber den Radius visorius des Honoratus Faber*. Halleri Disputat. anat. IV. S. 216.
- 1754.
6984. CONDILLAC. *Traité des sensations*.  
1759.
6985. PORTERFIELD. *A treatise on the eye*. Edinburg. II. S. 285.  
1761.
6986. D'ALEMBERT. *Opuscula mathematica*. I. S. 26, 265.  
1771.
6987. BORHM. *De Visione erecta*. Acta Hassiaca. S. 64.  
1772.
6988. PRIESTLEY. *History and present state of discoveries relating to vision, light and colours*. Uebers. v. Klügel. Leipzig 1775. S. 69.  
1788.
6989. ROCHON. *Recueil de Mémoires sur la Mécanique et sur la Physique*. Brest. VI. S. 241.  
1784.
6990. DU TOUR. *Mémoire pour établir que le point visible est vu dans le rayon qui va de ce point à l'oeil*. Mémoires de savans étrang. Paris. VI. S. 241.



1858.

7015. UEBERWEG. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Zeitschr. f. ration. Medicin. (3.) Bd. V. S. 268—282.

1860.

7016. J. J. OPPEL. *Zur Theorie einer eigenthümlichen Reactionsthätigkeit des menschlichen Auges in Bezug auf bewegte Netzhautbilder.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1859—1860. S. 54—64. — Zeitschr. f. Naturw. XVII. S. 258—260.
7017. H. AUBERT. *Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objecten bei Neigung des Kopfes nach rechts und links.* Virch. Arch. XX. S. 381—393.
7018. G. BUECHTEMANN. *De anomalia loci, quo rerum imagines in retina ortae, nec extinctae oculis aversis referuntur.* Berlin.

1861.

7019. A. NAGEL. *Das Sehen mit zwei Augen.* Breslau. S. 124—129.
7020. E. HERING. *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig. Heft 1. S. 35—64.
7021. RAINY. *Sur la cause des mouvements apparents des images des objets.* Ophthalm. Hosp. Rep. No. 12.

1862.

7022. F. ZÖLLNER. *Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder.* Pogg. Ann. CXVII. S. 477—484. — Zeitschr. f. Naturw. XXI. S. 163.

1863.

7023. J. CZERMAK. *Ueber das sogenannte Problem des Aufrechtsehens.* Wien. Ber. XVII. S. 566—574.

1864.

7024. G. TH. RUETE. *Ueber die Richtungslinien des Sehens.* Sitzgs.-Ber. II. S. 3. — Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 186.

1865.

7025. ALFRED GRAEFE. *Ueber einige Verhältnisse des Binocularsehens bei Schielenden.* Arch. f. Ophthalm. XI. (2.) S. 6—16.
7026. H. W. DOVE. *Ueber optische Täuschungen bei der Bewegung.* Berl. Ber. S. 129.
7027. H. HELMHOLTZ. *Ueber den Einfluß der Raddrehung der Augen auf die Projection der Retinabilder nach außen.* Verh. d. naturhist. Ver. in Heidelberg. III. S. 170, in Heidelb. Jahrb. d. Litt. No. 16. S. 244—245.

1867.

7028. TH. W. ENGELMANN. *Over schijnbewegingen bij nabelden.* Ned. Arch. III. S. 114
7029. — *Ueber Scheinbewegungen in Nachbildern.* Jenaische Zeitschr. f. Med. u. Naturw. III. S. 443.

1868.

7030. G. OTTH. *Ueber eine intermittirende optische Täuschung.* Berner Mitth. 1868. S. 70—74.

1869.

7031. LAMANSKY. *Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Blickbewegung, resp. Augenbewegung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 418—422.
7032. F. P. LE ROUX. *Illusions du jugement qui accompagnent les perceptions visuelles.* Mondes. (2.) XXI. S. 477—479.

1871.

7033. PH. BRETON. *Danse apparente des fils télégraphiques vus par la fenêtre d'un wagon en marche rapide.* Mondes. (2.) XXVI. S. 548.
7034. F. C. DONDERS. *Die Projection der Gesichterscheinungen nach den Richtungslinien.* Arch. f. Ophthalm. XVII. (2.) S. 1—68.

1872.

7035. F. C. DONDERS. *De projectie der gezichtsverschynselen naar de richtungslijnen.* Onderzoekingen ged. in het Physiol. Laborat. d. Utrecht'sche Hoogeschool. Derde Reeks. I. S. 146—168. — Arch. néerl. VII. S. 254—276.

1873.

7036. E. EMMERT. *Gesichtswahrnehmungen und Sinnestäuschungen.* Bern.
7037. J. JAGO. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Philos. Mag. (4.) XLVI. S. 80—84. Proc. Roy. Soc. XXI. S. 213—217.
7038. A. THIERSCH. *Optische Täuschungen auf dem Gebiete der Architectur.* Zeitschr. f. Bauwesen. Jahrg. 1873.





1884.

7067. E. BUDDÉ. *Ueber metakinetische Scheinbewegungen und über die Wahrnehmung der Bewegung.* Du Bois-Reymond's Arch. S. 127.

1885.

7068. ALIX. *Une illusion de l'esprit.* Rev. méd. de Toulouse. XIX. S. 129.  
 7069. A. BROTHERS. *On a variation in the size of an image on the retina according to the distance of the background on which it is seen.* Chem. News. LI. S. 296.  
 7070. V. KANDINSKY. *Kritische und klinische Betrachtungen im Gebiete der Sinnestäuschungen.* Berlin, Friedländer u. Sohn.

1886.

7071. H. AUBERT. *Die Bewegungsempfindung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XXXIX. S. 347.  
 7072. A. CHARPENTIER. *Nouveaux faits à propos du balancement des étoiles.* Compt. Rend. CII. S. 1462.  
 7073. — *Mouvements apparents d'un petit objet faiblement éclairé dans le champ visuel obscur.* Compt. Rend. de la Soc. de Biol. II. S. 765. III. S. 226. — Compt. Rend. CII. S. 1025, 1155.  
 7074. — *Illusion visuelle.* Franc. méd. 17. Juni.  
 7075. — *Note sur une illusion visuelle.* Gaz. hebd. de méd. et de chir. No. 22. S. 363. — Compt. Rend. Bd. 102. S. 1155.  
 7076. S. EXNER. *Ein Versuch über die Netzhautperipherie als Organ zur Wahrnehmung von Bewegungen.* Pflüger's Arch. XXXVIII. S. 217—218.  
 7077. A. KÖNIG. *Ueber eine auf die empirische Grundlage unserer Raumanschauung bezügliche Beobachtung.* Wiedemann's Ann. XXVIII. S. 267—268. — Verhandl. d. Phys. Ges. zu Berlin vom 5. März.  
 7078. M. H. DE PARVILLE. *Sur une illusion visuelle et l'oscillation apparente des étoiles* Compt. Rend. CII. S. 1309.

1887.

7079. H. AUBERT. *Die Bewegungsempfindung.* (Zweite Mittheilung nebst Nachtrag.) Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 459—480 u. 623—624.  
 7080. BERLIN. *Ueber ablenkenden Linsen-Astigmatismus und seinen Einfluß auf das Empfinden von Bewegung.* Zeitschr. f. vergl. Augenheilkde. Bd. V.  
 7081. S. EXNER. *Einige Beobachtungen über Bewegungsnachbilder.* Centralbl. f. Physiol. S. 135.  
 7082. CH. FÉRÉ. *Sensation et mouvement. Etude expérimentale de psycho-mécanique.* Paris.

1888.

7083. H. AUBERT. *Physiologische Studien über die Orientirung.* Tübingen, Laupp. 122 S.  
 7084. D. AXENFELD. *Illusione visiva monoculare.* Acad. med. di Roma. XIV. S. 5.  
 7085. S. EXNER. *Ueber optische Bewegungsempfindungen.* Biol. Centralbl. VIII. No. 14. S. 437—448.  
 7086. E. HERING. *Berichtigung.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (4.) S. 272.  
 7087. E. HEUSE. *Zwei kleinere Mittheilungen aus dem Gebiete der physiologischen Optik.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXXIV. (2.) S. 127—134.  
 7088. A. E. MULDER. *Ons oordeel over verticaal, bij neiging van het hoofd naar rechts of links.* Feestbundel a. F. C. Donders, etc. Amsterdam. S. 340—352.

1889.

7089. H. AUBERT. *Die Orientirung im Raume bei ruhendem und bewegtem Körper und über den Schwindel.* Arch. d. Ver. d. Freunde d. Naturg. in Mecklenburg. XLII. S. 249.  
 7090. BEEVOR. *Apparent movement of objects associated with giddiness.* Ophthalm. Rev. VIII. S. 220.

1890.

7091. L. FERRI. *Dei movimenti apparenti. Osservazioni di fisiologia sulla sensazione visiva di movimento.* Giorn. d. R. Accad. med. di Torino. S. 172. — Ann. di Ottalm. XX. S. 400. 1891.  
 7092. TH. LIPPS. *Ueber eine falsche Nachbildlocalisation.* Zeitschr. f. Psychol. I. S. 60 bis 74.

1891.

7093. A. AHRENS. *Untersuchungen über die Bewegung der Augen beim Schreiben.* Diss. Rostock. 30 S.



1700.  
7115. TH. GOUYR. *Mém. de Paris*. S. 11.
1709.  
7116. BERKELEY. *Essay toward a new theory of vision*. Dublin. S. 30. — Auch in Robin's mathematical tracts. II. S. 242. London. 1761.
1712.  
7117. JABLOT. *Description de plusieurs nouveaux microscopes*. (Umkehrung des Reliefs.)
1717.  
7118. VARIGNON. *Lignes suivant lesquelles des arbres doivent être plantés pour être vues deux à deux aux extrémités de chaque ordonnée à ces lignes sous des angles de sinus données*. *Mém. de Paris*.
1728.  
7119. R. SMITH. *Optik*. Deutsche Ausgabe. S. 418. Ebenda Huygens in Art. 586.
1736.  
7120. J. LOGAN. *Some thoughts on the sun and the moon, when near the horizon appearing larger than when near the zenith*. *Phil. Trans.*
7121. J. T. DESAGULIERS. *Attempt to explain the phenomenon of the horizontal moon appearing larger than when elevated, supported by an experiment*. *Phil. Trans.* LII. S. 462.
1745.  
7122. P. F. GMELIN. *De fallaci visione per microscopia composita notata*. *Phil. Trans.*
1755.  
7123. P. BOUGUER. *Sur la grandeur apparente des objets*. *Mém. de Paris*.
1758.  
7124. J. E. MONTUCLA. *Histoire des mathématiques*. Paris, Vol. I. S. 309.
1759.  
7125. W. PORTERFIELD. *A treatise on the eye*. Edinburg. 2 Vol.
1762.  
7126. SAM. DUNN. *An attempt to assign the cause, why the sun and moon appear to the naked eye larger, when they are near the horizon*. *Phil. Trans.* Vol. VIII. S. 130.
1765.  
7127. J. H. LAMBERT. *Beiträge zum Gebrauch der Mathematik und deren Anwendung*. Berlin 1765—72. Bd. I. § 60—78.
1768.  
7128. L. EULER. *Lettres à une Princesse d'Allemagne*. Petersb. 1768—72. Deutsch von F. Kries. Leipzig. 1792—94. S. 317.
1772.  
7129. PRIESTLEY. *Geschichte der Optik*. Deutsch von Klügel. Leipzig. 1776. II. S. 491—511.
1786.  
7130. D. RITTENHOUSE. *Explanation of an optical deception*. *Transact. Americ. Philos. Society*. II. — *Edinb. Journ. of science*. VII. S. 99.
1828.  
7131. MUNCKE. Art.: *Gesicht* in Gehler's physik. Wörterb. Neu bearbeitet. Leipzig. IV. S. 1455.
1838.  
7132. NECKER. *Ueber einige merkwürdige optische Phänomene*. *Pogg. Ann.* XXVII. S. 502.
1840.  
7133. HUECK. *Ueber die Täuschung des Fernrückens der Gesichtsobjecte*. *Müller's Arch.* S. 76.
1842.  
7134. H. MEYER. *Ueber einige Täuschungen in der Entfernung und Grösse der Gesichtsobjecte*. *Arch. f. physiol. Heilkde.* S. 316.
1847.  
7135. D. BREWSTER. *On the conversion of relief by inverted vision*. *Edinb. Philos. Transact.* XV. S. 657. *Philos. Mag.* XXX. S. 432. *Athenaeum*. No. 1029. S. 773.
1848.  
7136. WALLER. *Sur un cas, où la vue altérée faisait voir les objets plus petits que nature*. *Inst.* XVII. No. 787. S. 39.



7161. E. MACH. *Beobachtungen über monoculare Stereoskopie.* Wien. Ber. LVIII. 2. S. 731—736.

1870.

7162. EMSMANN. *Eine pseudoskopische und optometrische Figur.* Pogg. Ann. Bd. 141. S. 476—479.

7163. HOFFMANN. *Optische Erscheinung 'auf fortdauernden Lichteindruck gegründet und Vorführung von Burckhardt's Reliefserscheinungen.* Zeitschr. f. Naturwiss. (2). II. S. 205.

7164. J. LANDERER. *Eine optische Täuschung.* Zeitschr. f. Naturw. XXXV. S. 214.

1872.

7165. VAN DER MEULEN. *Stereoscopie bij onvolkomen gezichtsvermogen.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II.

7166. VAN DER MEULEN und T. C. VAN DOOREMAAL. *Stereoscopisch zien, zonder corresponderende half beelden.* Onderz. ged. in het phys. Lab. d. Utr. hoogesch. 3. reeks II. S. 119.

7167. VOGEL und ZENKER. *Die körperliche Wahrnehmung einer einfachen Zeichnung.* Athenäum 2. S. 86.

1873.

7168. VAN DER MEULEN en VAN DOOREMAAL. *Stereoskopisches Sehen ohne correspondirende Halbbilder.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 137—141.

1874.

7169. J. SAMELSOHN. *Ueber eine besondere Art monocularer Reliefanschauung.* Arch. f. d. ges. Physiol. IX. S. 221—226.

1877.

7170. E. BRÜCKE. *Bruchstücke aus der Theorie der bildenden Künste.* Internat. wiss. Bibl. Bd. 28. Leipzig, Brockhaus.

7171. S. P. THOMPSON. *On the chromatique aberration of the eye in relation to the perception of distance.* Philos. Mag. Juli 1877.

1879.

7172. A. BERLIN. *Taxation der Entfernung bei einseitig erblindeten Pferden.* Vers. d. Naturf. u. Aerzte in Baden-Baden. Tagebl. S. 348.

1880.

7173. J. PLATEAU. *Une application des images accidentelles.* Bull. de l'Acad. de Belg. (2.) XLIX. S. 316.

1881.

7174. J. PLATEAU. *Une application des images accidentelles. Deuxième Note.* Bull. de l'Acad. de Belg. (3.) II. S. 281.

1882.

7175. G. HAUCK. *Die malerische Perspective.* Wochenbl. f. Architectur u. Ingenieure. Jahrg. IV. No. 52, 54, 56 u. 58. — Sep. Berlin, Springer.

1883.

7176. GOVI. *Intorno allo scopritore di una singolare illusione ottica.* Atti R. dei Lincei. (3.) Trans. VII. S. 183—187.

1884.

7177. W. v. BEZOLD. *Eine perspectivische Täuschung.* Wiedem. Ann. XXIII. S. 351.

7178. P. STROBANT. *Sur l'agrandissement des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. Acad. Roy. Belg. (3.) VIII. S. 719—734.

1885.

7179. G. HAUCK. *Die Grenzen zwischen Malerei und Plastik und die Gesetze des Reliefs.* Berlin.

7180. J. OUGHTON. *On the secondary nature of monocular relief.* Lancet. 8. Juli. II. S. 8, 27, 62.

7181. P. STROBANT. *Nouvelles recherches sur l'agrandissement apparent des constellations, du soleil et de la lune à l'horizon.* Bull. de l'Acad. roy. de Belg. (3.) X. No. 8.

7182. — *Récréations scientifiques. Curieuse illusion d'optique.* La Nature. XIII. (2.) S. 64.

1887.

7183. J. HOPPE. *Beitrag zur Erklärung des Erhaben- und Vertieftsehens.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 523.

7184. J. LOEB. *Dioptrische Fehler des Auges als Hilfsmittel der monocularen Tiefenwahrnehmung.* Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol. XL. S. 371.



1839.

7212. C. WHEATSTONE. *Ueber das Sehen mit zwei Augen und das Stereoskop.* Pogg. Ann. Bd. 47. S. 625. — Bibl. Univ. N. S. Bd. XVII. S. 174.

1841.

7213. E. BRÜCKE. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen.* Müller's Arch. S. 459.

1842.

7214. TOURTUAL. *Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und im stereoskopischen Bilde.* Münster.

1844.

7215. D. BREWSTER. *Law of visible position in single and binocular vision and on the representation of solid figures by the union of dissimilar plane pictures in the retina.* Edinb. Phil. Trans. XV. — Philos Mag. XXIV. S. 356—439.

1848.

7216. F. C. DONDERS. *Ueber den Zusammenhang zwischen dem Convergiere der Sehaxen und dem Accommodationszustand der Augen.* Holl. Beiträge. I. S. 379.

1850.

7217. D. BREWSTER. *Notice of a chromatic stereoscope.* Edinb. Journ. XLVIII. S. 150. — Inst. No. 850. S. 128. — Philos Mag. (4.) III. S. 31. — Sill. Journ. (2.) XV. S. 289—290.

7218. J. DUBOSCQ. *Description du stéréoscope de M. Brewster construit par lui.* Compt. Rend. XXXI. S. 895. — Bull. de la Soc. d'encour. d. sc. 1851. S. 45. — Dingler's polyt. Journ. CXX. S. 159. — Athenaeum. 1861. S. 1350.

7219. H. W. DOVE. *Ueber das Binocularsehen prismatischer Farben und eine neue stereoskopische Methode.* Pogg. Ann. LXXX. S. 446. — Berl. Monatsber. S. 152. — Arch. de Genève. XIX. S. 219.

7220. — *Beschreibung mehrerer Prismenstereoskope und eines einfachen Spiegelstereoskops.* Pogg. Ann. LXXXIII. S. 183. — Berl. Monatsber. 1851. S. 246. — Philos Mag. (4.) II. S. 29. — Inst. No. 937. S. 404.

7221. — *Ueber eine bei dem Doppeltsehen einer geraden Linie wahrgenommene Erscheinung.* Berl. Monatsber. S. 363. — Inst. No. 907. S. 128.

1852.

7222. J. DUBOSCQ. *Nouveaux stéréoscopes.* Cosmos. I. S. 97—104, 703—705.

7223. D. BREWSTER. *Description of several new and simple stereoscopes for exhibiting, as solids, one or more representations of them on a plane.* Philos Mag. (4.) III. S. 16 bis 26. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 200—204. Dingler's polyt. Journ. CXXIV. S. 109—112. Sill. Journ. (2.) XV. S. 140—142, 288—289.

7224. — *Account of a binocular camera and of a method of obtaining drawings of full length and colossal statues.* Phil. Mag. (4.) III. S. 26—30. Trans. of Scott. Soc. of arts. 1849. Rep. of Brit. Assoc. 1849. 2. S. 5.

7225. — *Sur la vision binoculaire et le stéréoscope.* Cosmos. I. S. 422—425. North Brit. Rev. May.

7226. E. WILDE. *Ueber die Anwendung der Camera lucida zu einem Stereoskope.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 63—67.

7227. C. WHEATSTONE. *Contributions to the physiology of vision. P. II. On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision.* Philos. Mag. (4.) III. S. 149—152, 504—523. Inst. S. 179—180. Arch. d. sc. phys. XIX. S. 196—200.

7228. H. MEYER. *Ueber die Schätzung der GröÙe und der Entfernung der Gesichtsobjecte aus der Convergenz der Augenaxen.* Pogg. Ann. LXXXV. S. 198—207. Arch. d. sc. phys. XX. S. 137—138. Cosmos. I. S. 47.

7229. H. W. DOVE. Pogg. Ann. LXXXV. S. 407—408.

1853.

7230. W. ROLLMANN. *Notiz zur Stereoskopie.* Pogg. Ann. LXXXIX. S. 350—351.

7231. — *Zwei neue stereoskopische Methoden.* Pogg. Ann. XC. S. 186—187. Zeitschr. f. Naturwiss. III. S. 97—100. Fechner's Centralbl. 1855. S. 980—981.

7232. W. HARDIE. *Description of a new pseudoscope.* Philos. Mag. (4.) V. S. 442—446.

7233. C. CLARKE. *Perfectionnements apportés au stéréoscope.* Cosmos. III. S. 123.

7234. KILBURN. *Stéréoscope-écrin.* Cosmos. III. S. 770.

1854.

7235. J. DUBOSCQ. *Stéréoscope cosmoramique ou optique stéréoscopique.* Cosmos. IV. S. 33—35.

7236. A. CLAUDET. *Théorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. IV. S. 65—67.





7266. J. DUBOSCQ. *Note sur une nouvelle disposition de stéréoscope à prismes réfringents, à angle variable et lentilles mobiles.* Compt. Rend. XLIV. S. 148—150. — Cosmos. X. S. 91—92.
7267. W. CROOKES. *Théorie des images stéréoscopiques.* Cosmos. X. S. 461—462.
7268. D. BREWSTER and C. WHEATSTONE. *Liverpool and Manchester Photographic Journ.* January 1. S. 4—7; January 15. S. 21—23. (*Prioritätsstreit.*)
7269. C. WHEATSTONE. *The original invention of the stereoscope.* The Liverpool and Manchester Photographic Journ. No. 1 u. 2.
7270. J. J. OPPEL. *Bemerkungen zur Stereoskopie, insbesondere zur Erklärung des Glanzes zweifarbiger Bilder.* Pogg. Ann. Bd. 100. S. 462.

## 1858.

7271. H. W. DOVE. *Ueber den Einfluß des Binocularsehens bei Beurtheilung der Entfernung durch Spiegelung und Brechung gesehener Gegenstände.* Berl. Monatsber. S. 312 bis 315. — Pogg. Ann. CIV. S. 325—329. — Inst. S. 282—283.
7272. W. HARDIE. *On the telestereoscope.* Philos. Mag. (4.) XV. S. 156—157. (*Prioritätsreclamation.*)
7273. SMITH and BECK. *Improvements to the stereoscope.* Athenaeum. II. S. 269—270.
7274. A. BOBLIN. *Expérience d'optique permettant d'obtenir d'une seule épreuve photographique la sensation d'un corps en relief.* Bull. de Brux. (2.) V. S. 304—306. Inst. S. 431—432. Compt. Rend. XLVII. S. 444.
- 7275. A. CLAUDET. *On the stereomonoscope.* Philos. Mag. (4.) XVI. S. 462—463. Proc. of Roy. Soc. IX. S. 194—196. Dingler's polyt. Journ. CLI. S. 72—73. Cosmos. XII. S. 493.
7276. J. C. D'ALMEIDA. *Nouvel appareil stéréoscopique.* Compt. Rend. XLVII. S. 61—63.

## 1859.

7277. F. v. RECKLINGHAUSEN. *Netzhautfunctionen.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 127 bis 179. — Pogg. Ann. CX. S. 65—92.
7278. E. BRÜCKE. *Eine Dissectionsbrille.* Arch. f. Ophthalm. V. (2.) S. 181—183.
7279. H. W. DOVE. *Stereoskopische Darstellung eines durch einen Doppelspath binocular betrachteten Typendrucks.* Berl. Monatsber. S. 278—280. Pogg. Ann. CVI. S. 655 bis 657. Philos. Mag. (4.) XVII. S. 414—415.
7280. — *Anwendung des Stereoscops, um einen Druck von seinem Nachdruck, überhaupt ein Original von seiner Copie zu unterscheiden.* Berl. Monatsber. S. 280 bis 288. Pogg. Ann. CVII. S. 657—660. Phil. Mag. (4.) XVII. S. 415—417. Dingler's polyt. Journ. CLIII. S. 451—454. Polytechn. Centralbl. S. 741—744.
7281. J. MÜLLER. *Stereoskopische Mondphotographie.* Pogg. Ann. CVII. S. 660. — Ber. d. Freib. Ges. II. S. 67. — Dingler polyt. Journ. CLIII. S. 75.
7282. W. DE LA RUE. *Report of the present state of celestial photography in England. Stereoscopic pictures of the moon.* Rep. of. Bris. Assoc. 1. S. 143—145. Cosmos. XV. S. 519—521.
7283. — *Stereoscopic pictures of the larger planets.* Rep. of Brit. Assoc. 1. S. 148—149.
7284. J. J. OPPEL. *Ueber das Einfachsehen doppelter Bilder bei gekreuzten Augenaxen.* Jahresber. d. Frankf. Ver. 1858—59. S. 22—38; S. 64—75.
7285. SAMUEL. *On an early form of the lenticular stereoscope constructed for the use of schools.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 19.
7286. H. W. DOVE. *Optische Studien, Fortsetzung der in der Farbenlehre enthaltenen* Berlin. (Sammlung der bisher citirten Aufsätze.)
7287. J. BECK. *On producing the idea of distance in the stereoscope.* Rep. of Brit. Assoc. 2. S. 7.
7288. E. DOULIOT. *Sulla percezione de' rilievi nello stereoscopio e nella natura.* Cimento. X. S. 342—352.

## 1860.

7289. P. VOLFICELLI. *Di uno stereoscopio diaframmatico.* Cimento. XII. S. 181—189.
7290. J. BECK. *Verbesserungen an Stereoscopen.* Lond. Journ. of arts. Juni. — Dingler's polyt. Journ. CLVII. S. 277—278.
7291. H. W. DOVE. *Ueber die Nicht-Identität der GröÙe der durch Prägen und Guß in derselben Form von verschiedenen Metallen erhaltenen Medaillen.* Pogg. Ann. CX. S. 498—499. Philos. Mag. (4.) XX. S. 327. Dingler's polyt. Journ. CLVII. S. 280—281.



7323. F. C. DONDERS. *Het binoculaire zien en de voorstelling der derde dimensie*. Verslag Ned. Gasth. voor Oogl. No. 7. S. 101. Nederl. arch. voor Genees en Natuurk. II. S. 303.
7324. F. C. DONDERS und DOIJER. *La vision binoculaire et la perception de la troisième dimension*. Amsterdam.
7325. E. JAVAL. *Sur un instrument nommé „iconoscope“, destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux*. Compt. Rend. LXIII. S. 927—928. 1867.
7326. W. v. BEZOLD. *Ueber binoculares Sehen*. Pogg. Ann. CXXX. S. 424—433. Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 326—332.
7327. A. CLAUDET. *On a new fact relating to binocular vision*. Philos. Mag. (4.) XXXIII. S. 549—554. Proc. Roy. Soc. XV. S. 424—429.
7328. H. W. DOVE. *Optische Notizen: III. Ueber Inversionen bei binocularer und monocularer Betrachtung perspectivischer Zeichnungen und durchsichtiger Körper*. Pogg. Ann. CXXXII. S. 474—479.
7329. F. C. DONDERS. *Das binoculare Sehen und die Vorstellung von der dritten Dimension*. Arch. f. Ophthalm. XIII. (1.) S. 1.
7330. E. MACH. *Ueber wissenschaftliche Anwendung der Photographie und Stereoskopie*. Wien. Ber. LIV. 2. S. 123—126.
7331. C. MAXWELL. *On a real image stereoscope*. Athenäum. 2. S. 337.
7332. G. TH. RUETE. *Das Stereoskop*. 2. Aufl. Leipzig.
7333. SERRÉ D'UZÈS. *Recherches expérimentales sur la vision binoculaire*. Gaz. des Hôpit. No. 72. S. 286.
7334. J. TOWNE. *Contributions to the physiology of binocular vision*. Proc. of the roy. soc. of London. XV. S. 424. 1868.
7335. H. HELMHOLTZ. *De la production de la sensation du relief dans l'acte de la vision binoculaire*. Compt. Rend. du Congr. intern. d'Ophthalm. Paris. S. 53—58. — Zehender's Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. V. S. 270—271.
7336. J. MARTIUS-MATZDORFF. *Die interessanten Erscheinungen der Stereoskopie*. Berlin.
7337. ROLLMANN. *Pseudoskopische Erscheinungen*. Pogg. Ann. CXXXIV. S. 615—618.
7338. R. STAUDIGL. *Grundzüge der Reliefperspective*. Wien. 1869.
7339. J. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision*. Philos. Mag. (4.) XXXVII. S. 131—140. XXXVIII. S. 179—204. Sill. Journ. (2.) XLVII. S. 68—77. S. 153 bis 178. Americ. Journ. of sc. XLVII. No. 140. S. 153.
7340. J. B. LISTING. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung*. Gött. Nachr. No. 21. S. 431—455. Klin. Monatsbl. S. 29.
7341. SYLVESTER. *Sur une représentation stéréoscopique de l'eikosiheptagramme cubique de Mr. le professeur Chr. Wiener*. Mondes. (2.) XXI. S. 412. 1870.
7342. F. KOHLRAUSCH. *Ueber eine durch die verschiedene Brechbarkeit des Lichtes hervor-gebrachte stereoskopische Wirkung*. Gött. Nachr. S. 415—416. — Pogg. Ann. Bd. 143. S. 144—147.
7343. J. B. LISTING. *Ueber eine neue Art stereoskopischer Wahrnehmung*. Pogg. Ann. CXLI. S. 225—245.
7344. C. G. TH. RUETE. *20 stereoskopische Bilder*. Leipzig.
7345. J. TOWNE. *Contributions the physiology of binocular vision*. Guy's Hosp. Rep. XV. S. 180—214. Med. Centralbl. S. 118. 1871.
7346. H. DOR. *Das Stereoskop und das stereoskopische Sehen*. Basel.
7347. C. F. HENNES. *Contribution to the subject of binocular vision*. Frankl. Journ. LXII. S. 263. Mech. Mag. XXVI. S. 393 u. 470.
7348. J. LE CONTE. *On binocular vision*. Sill. Journ. (3.) I. S. 33—44. II. S. 1—10. S. 317—323 u. 417—426.
7349. — *Sur les images d'illusion et sur la théorie du relief binoculaire*. Arch. sc. phys. (2.) XLI. S. 394—422.
7350. J. J. MÜLLER. *Ueber den Einfluß der Raddrehung der Augen auf die Wahrnehmung der Tiefendimension*. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 6. Mai. 2/3. S. 125 bis 134.



1880.

7378. J. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision: laws of ocular motion.* New Haven.

1881.

7379. J. LE CONTE. *Some phenomena of binocular vision.* Sill. Journ. XX. S. 83—93.  
 7380. H. HELMHOLTZ. *Note on stereoscopic vision.* Philos. Mag. (5.) XI. S. 507—508.  
 7381. E. LANDOLT. *Un télémètre.* Ann. d'Oculist. Bd. 85. S. 77—83.  
 7382. — *Une modification de mon télémètre.* Arch. d'ophthalm. I. 3. S. 212—220.  
 7383. W. LE CONTE STEVENS. *The stereoscope and vision by optic divergence.* Sill. Journ. (3.) XXI. 132. S. 443—456. XXII. S. 358—362.  
 7384. — *On Wheatstone's and Brewster's theory of binocular perspective.* Philos. Mag. (5.) XII. S. 436—444.

1882.

7385. J. BIELEFELD. *Das stereoskopische Sehen nach Schieloperationen.* Diss. Würzburg.  
 7386. W. LE CONTE STEVENS. *A new form of reversible stereoscope.* Americ. Journ. of Sc. No. 135. S. 226.  
 7387. — *Notes on physiological optics.* Phil. Mag. (5.) XIV. S. 312.  
 7388. — *Notes on physiological optics.* No. 3: *Theory of associated muscular action. — Relation between different elements of binocular perspective. — A new mode of Stereoscopy.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIII. S. 290—302.  
 7389. — *Notes on physiological optics.* No. 4: *Voluntary control of focal accommodation. — Effect of muscular effort on retinal sensitiveness. — Relation of axial adjustment to focal accommodation etc.* Sill. Journ. XXIII. S. 346.  
 7390. — *Notes on physiological optics.* No. 5: *Vision by the light of the electric spark.* Amer. Journ. of Sc. Vol. XXIV.

1883.

7391. T. W. BACKHOUSE. *Physiological optics.* Amer. Journ. Sc. (3.) XXVI. S. 305.  
 7392. R. BERLIN. *Ueber Tiefenwahrnehmung bei Thieren mit Demonstration eines Apparates.* Ber. über d. 15. Vers. d. Heidelb. ophthalm. Ges. S. 181.  
 7393. BURMESTER. *Grundzüge der Reliefperspective.* Leipzig. Mit 3 Taf.

1884.

7394. GOVI. *Intorno a una deformazione prospettica delle imagine vedute nei cannocchiale.* Compt. Rend. XCIX. S. 480.  
 7395. HEUSE. *Eine stereoskopische Erscheinung in der rotirenden Bildertrommel.* Arch. f. Ophthalm. XXX. (1.) S. 159.  
 7396. J. OUGHTON. *The secondary nature of binocular relief.* Lancet. Juli. S. 13 u. 58.

1885.

7397. L. CAZES. *De l'obtention par la photographie des épreuves stéréoscopiques à perspective exacte.* Journ. de phys. (2.) IV. S. 314—316.  
 7398. F. C. DONDER. *Ueber Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Ber. d. 18. Vers. d. ophthalm. Ges. S. 82 u. 86.  
 7399. W. EINTHOVEN. *Stereoskopie durch Farbendifferenz.* Graefe's Arch. XXXI. (3.) S. 211—238. Arch. Néerl. Sc. exact. et nat. XX. S. 361—367.  
 7400. EWALD. *Demonstration eines Stereoscops.* Tagebl. d. 58. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Straßburg. S. 215.

1886.

7401. R. ANCKE. *Stereoskopenbilder.* Tagebl. d. 59. Vers. deutsch. Naturf. u. Aerzte in Berlin. S. 222.  
 7402. W. EINTHOVEN. *Stereoscopie door kleurverschil.* Nederl. Gasth. voor Ooglijders. 27. Versl. Bybladen. S. 1. — Sep. Utrecht.  
 7403. STROH. *On a new form of Stereoscope.* Proc. of the Roy. Soc. of London. XL. S. 317.

1887.

7404. W. W. ANDERSON. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 56.  
 7405. J. LE CONTE. *Some peculiarities of the phantom images formed by binocular combination of regular figures.* Sill. Journ. XXXIV. S. 97.  
 7406. W. KROLL. *Stereoskopische Bilder.* (25 Tafeln.) Hamburg u. Leipzig, L. Voss.  
 7407. SOUS. *Vision binoculaire et réfraction.* Rev. clin. d'ocul. No. 10.  
 7408. W. LE CONTE STEVENS. *Stereoscopic vision.* Science. IX. S. 14.



## § 31.

## Das binoculare Doppeltsehen.

7438. GALENUS. *De usu partium*. Lib. X. Cap. 12. 118.
7439. J. B. PORTA. *De refractione*. S. 142. 1598.
7440. KEPLER. *Dioptrice*. Propos. LXII. 1611.
7441. F. AGUILONICS. *Opticorum libri VI*. Antwerpen. 1618.
7442. GASSENDI *Opera*. Vol. II. S. 395. 1658.
7443. TACQUET. *Opera mathematica*. 1669.
7444. BOHAULT. *Traité de physique*. Paris 1671 u. 1682. Part. I. Cap. 31. 1671.
7445. J. NEWTON. *Optice*. Quaestio XXV. 1704.
7446. DU TOUR. *Act*. Paris. S. 334. 1748.
7447. PORTERFIELD. *On the eye*. II. S. 285. 1759.
7448. DU TOUR. *Pourquoi un objet sur lequel nous fixons les yeux, paroît-il unique?* Mém. des savants étrangers. III. S. 514. IV. S. 499. V. S. 677. 1760.
7449. G. U. A. VIETH. *Ueber die Richtung der Augen*. Gilbert's Ann. LVIII. S. 233. 1818.
7450. W. C. WELLS. *Upon single vision with two eyes*. London. 1824.
7451. W. H. WOLLASTON. *On the semi-decussation of the optic nerves*. Philos. Transact. I. S. 222. Edinb. Philos. Journ. XXII. S. 420. Ann. of Philos. April S. 306. 1826.
7452. JOH. MÜLLER. *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig. 1827.
7453. TOURTUAL. *Die Sinne des Menschen*. S. 234. 1833.
7454. C. WHEATSTONE. *On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision*. Phil. Transact. P. II. S. 384—385. 1839.
7455. F. G. ENDER. *De horoptere et strabismo*. Diss. Berlin. 1840.
7456. JOH. MÜLLER. *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Coblenz. Bd. II. S. 376—387. 1841.
7457. E. BRÜCKE. *Ueber die stereoskopischen Erscheinungen*. J. Müller's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 459.
7458. H. W. DOVE. Berl. Monatsb. 29. Juli. 1843.
7459. A. P. PRÉVOST. *Essai sur la théorie de la vision binoculaire*. Genève. Pogg. Ann. LXII. S. 548. 1844.
7460. D. BREWSTER. *Law of visible position in single and binocular vision*. Edinb. Philos. Trans. XV.









7545. CUIGNET. *De la vision chez le tout jeune enfant.* Ann. d'Ocul. LXVI. S. 117—126.  
 7546. F. C. DONDERS. *Zur Theorie der correspondirenden Netzhautpunkte.* Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde. S. 471.  
 7547. E. JAVAL. *Du strabisme.* Ann. d'Oculist. LXV. S. 97—112.  
 7548. R. PICTET. *Sur la vision binoculaire.* Arch. d. sc. phys. (2.) XL. S. 105—152. Bibl. univ. de Genève Arch. T. 40. S. 105.  
 7549. SANG. *Experiments and observations on binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. of Edinburgh. VII. S. 433.

1872.

7550. J. LE CONTE. *Sur la transparence des images doubles.* Arch. d. sc. phys. (2.) XLV. S. 229—232.  
 7551. — *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts Ser. II. Vol. 47. Ser. III. Vol. 1. 2.  
 7552. F. C. DONDERS. *De stereoskopische combinatie, na operatie van scheelsien; een argument tegen de empiristische theorie.* Onderz. ged. in het physiol. Lab. d. Utrecht'sche Hoogeschool. III. Reeks I. S. 83—91.  
 7553. DOR. *Quelques mots sur la vision binoculaire en réponse aux articles de Mm. Raoul Pictet et Joseph Le Conte.* Arch. d. Scienc. de la bibl. univ. May. 22 pp.  
 7554. L. MANDELSTAMM. *Beitrag zur Lehre von der Lage correspondirender Netzhautpunkte.* Arch. f. Ophthalm. XVIII. (2.) S. 133—141.  
 7555. R. PICTET. *Expériences et observations sur la vision binoculaire.* Mém. de St. Petersb. XVII. No. 11. S. 1—79.

1873.

7556. A. GENEMER. *Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen.* Idang.-Diss. Halle.  
 7557. v. HASNER. *Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges.* Sinnenleben und Sehen. S. 1—15.  
 7558. — *Die reciproken Netzhäute und das Tiefensehen.* S. 40—57.  
 7559. J. JAGO. *Visible direction: being an elementary contribution to the study of monocular and binocular vision.* Proc. of the Roy. Soc. March 13. — Phil. Mag. XLVI. S. 80—84.  
 7560. KRENCHL. *Ueber die krankhaft herabgesetzte Fusionsbreite als Ursache des Schielens.* Arch. f. Ophthalm. XIX. (1.) S. 144—155.  
 7561. H. SCHÖLER. *Zur Identitätsfrage. 1. Grenzen der Correspondenz beider Sehfelder. 2. Messung der Disparität an Schielenden und Entdeckung neuer Schielformen.* Graefe's Arch. XIX. (1.) S. 1—55.

1874.

7562. E. LANDOLT. *Le Chiastomètre.* Ann. d'Ocul. S. 3. — Klin. Monatsbl. XI. S. 470.  
 7563. F. D. A. VAN MOLL. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Vijftiende Versl. betr. het nederl. gasth. voor oogl. Utrecht. S. 79—121.

1875.

7564. J. LE CONTE. *On some phenomena of binocular vision.* Americ. Journ. of Science and Arts. 3. ser. Vol. IX. S. 159—171.  
 7565. F. C. DONDERS. *Die correspondirenden Netzhautmeridiane und die symmetrischen Rollbewegungen.* Arch. f. Ophthalm. XXI. 3. S. 100.  
 7566. — *De corresponderende netvlies-meridianen en de symmetrische rolbewegingen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. 2. S. 45.  
 7567. EMSMANN. *Zum binocularen Sehen.* Pogg. Ann. Bd. 156. S. 307—312.  
 7568. A. GRAEFE. *Motilitätsstörungen des Auges.* Graefe-Sämisch, Handbuch d. ges. Augenheilkde. Bd. VI. Cap. 9. Leipzig.  
 7569. F. D. A. VAN MOLL. *Over de normale incongruentie der netvliezen.* Onderzoek. ged. in het Phys. Lab. d. Utrecht'sche Hoogesch. Derde R. III. S. 39.  
 7570. H. SCHÖLER. *Zur Behandlung Schielender (Einübung des binocularen Einfachsehens)* Allg. med. Centralztg. S. 842—844.

1876.

7571. W. v. BEZOLD. *Beiträge zur Geschichte der physiologischen Optik (Farbenkreisel und binoculares Sehen).* Pogg. Ann. Ergänzungsbd. VIII. S. 510—515.  
 7572. J. HIRSCHBERG. *Notiz zur Theorie des Sehens.* Graefe's Arch. f. Ophthalm. XXII. (4.) S. 118—125.

















1891.

7751. A. CHATTELAT. *Sur la fusion des sensations chromatiques perçues isolément par chacun des deux yeux.* *Compt. Rend. CXIII* S. 352—362 — *Progr. med. N. 21*  
 7752. — *Sur la théorie de l'antagonisme des champs visuels.* *Compt. Rend. Bd. 113*  
*Nov. 15. S. 439—442*

## § 33.

## Kritik der Theorien.

Hinsichtlich weiterer Literatur muß auf die Zusammenstellungen in den entsprechenden philosophischen Werken verwiesen werden: ferner ist die Literatur von § 26 zu beachten.

1832.

7753. H. ERPENSBECK. *Ueber das Recht-Sehen trotz des umgekehrten Schbildes auf der Retina.*

1846.

7754. TH. WAITZ. *Grundlegung der Psychologie.* Hamburg.

1849.

7755. TH. WAITZ. *Lehrbuch der Psychologie als Naturwissenschaft.* Braunschweig.

1852.

7756. H. LOTZE. *Medizinische Psychologie.* Leipzig.

1854.

7757. G. MEISSNER. *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans.* 1854.

1855.

7758. A. BAIN. *The senses and the intellect.*

7759. H. HELMHOLTZ. *Ueber das Sehen des Menschen.* Ein populär wissenschaftlicher Vortrag. Leipzig, L. Voss.

7760. H. SPENCER. *Principles of psychology.* London. 2 Vol.

1858.

7761. C. G. P. LANGENHART. *Quid sit, quod objecta, interea in retina imagine, sensu recta percipiuntur, dissentiunt.*

7762. P. L. PASTH. *Ueber das Sehen mit zwei Augen.* Kiel.

1859.

7763. A. KERNHAUL. *Untersuchungen über das Seelenleben des neugeborenen Menschen.*

7764. ÜBERWEG. *Zur Theorie der Richtung des Sehens.* Henle u. Pfeuffer's Zeitschr. f. rat. Med. 3. R. Bd. 5. S. 274.

1860.

7765. G. TH. FECHNER. *Elemente der Psychophysik.* 2 Bde. Leipzig.

1861.

7766. CORNELIUS. *Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens vom physikalischen, physiologischen und psychologischen Standpunkt.* Halle.

7767. A. NAGEL. *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen.* Leipzig u. Heidelberg.

1862.

7768. W. WUNDT. *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* Leipzig u. Heidelberg.

1863.

7769. A. CLASSEN. *Das Schlußverfahren des Schactes.* Rostock.

1864.

7770. ABBOT. *Light and touch.*

7771. A. BAIN. *The senses and the intellect.* 2. ed.

7772. CORNELIUS. *Zur Theorie des Sehens.* Halle.



1881.

7800. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur empiristischen Theorie des Sehens*. Sitzgs.-Ber. d. naturwiss. Ges. in Marburg. S. 41.

7801. FR. SCHULTZE. *Philosophie der Naturwissenschaft*. 2 Theile. Leipzig.

1882.

7802. H. SCHMIDT-RIMPLER. *Zur empiristischen Theorie des Sehens*. Neurol. Centralbl. 1. S. 59.

1883.

7803. TH. LIPPS. *Grundthatsachen des Seelenlebens*. Bonn. 708 S.

1885.

7804. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 433—493.

7805. TH. LIPPS. *Psychologische Studien*. (1. *Der Raum der Gesichtswahrnehmung*.) Heidelberg, Weiss. 161 S.

1886.

7806. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. X. S. 419—467.

7807. E. MACH. *Beiträge zur Analyse der Empfindungen*. Jena, Fischer. 168 S.

1887.

7808. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XI. S. 53—116, 249—307.

1888.

7809. CH. DUNAN. *L'espace visuelle et l'espace tactile*. Rev. philos. XIII. 2. S. 134.

7810. J. H. HYSLOP. *On Wundt's theory of psychic synthesis in vision*. Mind. XIII. S. 499.

7811. L. DE LA RIVE. *Sur la composition des sensations et la formation de la notion de l'espace*. Basel, H. Gevre.

1889.

7812. A. CLASSEN. *Physiologie des Gesichtssinnes, zum ersten Mal begründet auf Kant's Theorie der Erfahrung*. Braunschweig, Vieweg.

7813. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIII. S. 71—124, 392—419.

7814. L. DE LA RIVE. *Sur la genèse de la notion d'espace*. Rev. philos. XIV. Jahrg. Bd. 27. S. 452—462. Rep. britt. assoc. 1888. S. 585.

1890.

7815. W. JAMES. *The principles of psychology*. London.

7816. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XIV. S. 317—353.

7817. A. KÖPCKE. *Ueber empirische und idealisirende Raumauffassung*. Progr. Altona Ottensen. 10 S.

7818. H. SPENCER. *Our Space-Consciousness: A. Reply*. Mind. XV. S. 305—324.

1891.

7819. C. S. CORNELIUS. *Zur Theorie des räumlichen Vorstellens mit Rücksicht auf eine Nachbildlokalisation*. Zeitschr. f. Psychol. II. S. 64—179.

7820. E. L. FISCHER. *Theorie der Gesichtswahrnehmung*. Mainz, Kirchheim 392 S.

7821. J. H. HYSLOP. *Helmholtz' theory of space-perception*. Mind. XVI. S. 54—79.

7822. B. KERRY. *Ueber Anschauung und ihre psychische Verarbeitung*. Vierteljahrsschr. f. wiss. Philos. XV. S. 127—167.

7823. H. MUNK. *Sehsphäre und Raumvorstellungen*. Intern. Beitr. z. wissensch. Med. (Virchow-Festschr.). Bd. I. S. 355—366. Berlin, Hirschwald.

7824. J. ONANOFF. *Origine de la vision droite*. Compt. Rend. de la Soc. de Biol. (9). III. 12. S. 233—236.

7825. RUDZKI. *Ueber ein angeborenes Gefühl der Cardinalrichtungen des Horizonts*. Biol. Centralbl. XI. No. 2. S. 63.

1892.

7826. A. FARGES. *La critique de Kant sur l'espace et le temps*. Ann. de Philos. Chrét (N. S.) Bd. 26, 5. S. 456—475.

7827. G. HIRTH. *Das plastische Sehen als Rindenzwang*. München. G. Hirth's Verlag. 80 S. m. 50 Textillustr. u. 34 Taf. m. stereoskop. Abbild.

7828. TH. LIPPS. *Die Raumanschauungen und die Augenbewegungen.* Zeitschr. f. P. III. S. 123—171.  
7829. A. STÖHR. *Zur nativistischen Behandlung des Tiefensehens.* Wien, Deuticke.  
7830. W. WUNDT. *Vorlesungen über die Menschen- und Thierseele.* 2. Aufl. Hambu  
Leipzig.

1893.

7831. M. GLOSSNER. *Die Theorie der Gesichtswahrnehmung und der kritische Re*  
*E. L. Fischer's.* Jahrb. f. Philos. u. specul. Theol. VII. S. 326—344.

1894.

7832. J. H. HYSLOP. *Experiments in space perception.* Psychol. Rev. I. 3. S. 25  
7833. J. KRASSNIG. *Die Zeit- und Raumvorstellung, eine psychologische Studie.*  
Nikolsburg. 39 S.
-

# Autorenregister zur Litteraturübersicht.

Anonym erschienene Abhandlungen sind mit den Anfangsworten ihres Titels in die alphabetische Reihenfolge eingeordnet.

## A.

A., A. 5865.  
 Abadie 778. 6784.  
 Abbe, E. 1126. 1375.  
 Abbot, C. C. 4151.  
 Abbot, T. R. 5801.  
 Abbott 3797. 7770.  
 Abercrombi, Adams, Ord,  
 Nettlehip 2704.  
 Abney, W. de W. 4886.  
 4887. 4888. 4908. 5536.  
 5549. 5655. 6500.  
 Abney, W. de W. u. Festing,  
 E. R. 4897. 5641. 5642.  
 5651. 5652. 5663.  
 Ackermann u. Herholt 7688.  
 Ackroyd, F. J. C. 715. 6544.  
 Adams, G. 1510. 5884, siehe  
 auch Abercrombi.  
 Adams, J. E. 835.  
 Adamück, E. 483. 1591.  
 1994. 2277. 2278. 2279.  
 2285. 2305. 6693. 6694.  
 Adamück, E. u. Woinow, M.  
 1674. 2286. 6195.  
 Adda 2202.  
 Addario, C. 6566. 6568.  
 Adensamer, Th. 426.  
 Aderholt, A. 3916.  
 Adler, H. 3464. 3465. 5146.  
 Aeby, Ch. 1663.  
 Aepinus 2729. 6093. 6332.  
 Aglave, E. 3288.  
 Agnew 3024.  
 Aguilonius (oder d'Aguilon),  
 F. 3. 5712. 5818. 6077.  
 7205. 7441.  
 Ahlström, G. 657.

Ahrens, A. 7093.  
 Ahrens, R. u. A. 1706.  
 Aimé 5866.  
 Aimée 2416.  
 Airy, G. B. 2417. 2568.  
 2699. 3942.  
 Aitken, J. 746. 4025. 4379.  
 4390. 4513. 5098. 5122.  
 6227. 6438. 7045.  
 Albers, J. A. 316. 2166.  
 Albert, E. 4655. 5447.  
 Albertoni, P. 3313. 3540.  
 Albertotti, 528. 570.  
 601. 1436. 1437. 1626.  
 2115. 2976. 4169. 4845.  
 5685. 6943, siehe auch  
 Tartuferi, F.  
 Albini 704. 1057. 3692.  
 3697. 3719. 3754. 3776.  
 3789. 4990. 4991.  
 Albrand, W. 3825.  
 Albrecht, J. 1838. 1955.  
 d'Alembert 2372. 6986.  
 Alhazen 5816. 6075. 7108.  
 Alix 4936. 7068.  
 Allen, G. 4049. 4072. 4073.  
 4104. 4143.  
 d'Almeida, J. C. 5923.  
 7276.  
 Almquist 4074. 4075.  
 Almquist u. Magnus 4105.  
 Alt, A. 80.  
 Altmann, R. 1127. 1128.  
 Amadei 1956.  
 Amat, C. 2125.  
 Amici 3625.  
 Amick, W. R. 4764.  
 Ammon, F. A. 837.  
 Anaglino 154.

Anagnostakis 2837.  
 Ancke, R. 7401.  
 Anderson, H. K., siehe Lang-  
 ley, J. N.  
 Anderson, J. 239.  
 Anderson, T. 2531. 7592.  
 Anderson, W. W. 7404.  
 Andogaky, N. u. Dolganow,  
 W. 2665.  
 André 5805. 5806. 5807;  
 siehe auch Wolf.  
 André u. Angot 5811.  
 Andrée 4050. 4106.  
 Andrews, E. A. 416.  
 Aneshäusel 5028.  
 Angelucci, A. 155. 174. 240.  
 304. 907. 908. 1910. 2315.  
 2550. 2707. 2708. 3551.  
 3558. 3574. 3575. 3584.  
 3585. 3593. 3601. 3605.  
 3606. 4177. 4898. 4921.  
 4945. 4950. 4951.  
 Angelucci, A. u. Aubert 2316.  
 Angiers, siehe Langlois.  
 Angot, siehe André.  
 Annuske 4402.  
 Antonelli, A. 1095. 1490.  
 3118. 3236.  
 Antonow 4076.  
 Appia 2746. 3284.  
 Aquapendente, F. 1. 7.  
 Arago 5391. 5747. 5786.  
 Araldi 6993.  
 Archer, Ch. 2254.  
 Arooleo 3607.  
 d'Arcy 5835.  
 Argilagos 2864. 2867.  
 Argyropulos 708.  
 Aristoteles 3846.



















































1888

TAFELN.

---

## Y.

Yeo, siehe Ferrier.  
 Young, C. A. 6203.  
 Young, Th. 103. 458. 1359.  
     1512. 1649. 2156. 2161.  
     2164. 2375. 2410. 3332.  
     4013. 4189. 4931. 5858.  
 Yvon 5583.

## Z.

Zach, de 5749.  
 Zahn 5734. 5824.  
 Zahn, v. 5585.  
 Zander, A. 2859.

Zeeman, P. 6316.  
 Zeglinski, N. 757.  
 Zehender, W. v. 471. 580.  
     588. 1072. 1115. 1131.  
     1132. 1184. 1371. 1574.  
     1890. 1891. 1892. 1918.  
     1925. 2567. 2582. 2681.  
     2842. 2852. 3070. 3435.  
     4070. 6770. 6798. 7612.  
 Zehender, W. u. Matthiessen,  
     L. 1381.  
 Zehender, W., Matthiessen,  
     L. u. Jacobsen, O. 1383.  
 Zehfuss, G. 7054.  
 Zenger 1746. 3994. 5107.  
 Zenker W. 4932. 5637.  
 Zenker, siehe Vogel.

Zenner, P. 178.  
 Zeno, T. 7151.  
 Zeretitzky 275.  
 Ziegler 4213. 7672.  
 Ziem 441. 802. 3253.  
 Zierninski, 3202.  
 Zimmermann 2342. 5  
 Zinelli 7251.  
 Zinken-Sommer, H. 1  
 Zinn 443. 3401.  
 Zizmann 5968.  
 Zöllner F. 2458. 4365.  
     6414. 6605. 6901.  
     7022. 7719.  
 Zachokke 6360.  
 Zumft, J., siehe König  
 Zwjaginzew, G. 777.



A

TAFELN.





1



